สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# เครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก

นายธวัชชัย โปร่งจิต
นายวศิน เนื้อทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่ ..... เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เลขทะเบียน 55461 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วัน,เดือน,ปี 9 พ.ค. 2548
b .....
i .....

# MOUNTING PRESS

MR. THAWATCHAI PRONGJIT

MR. WASIN CHUEATHONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะวิศวกรรมศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ใบรับรองปริญญานิพนธ์**

**หัวข้อปริญญานิพนธ์** เครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก

MOUNTING PRESS

**นักศึกษา** นายธวัชชัย โปร่งจิต รหัสประจำตัว 44015737

นายวศิน เชื้อทอง รหัสประจำตัว 44015751

**หลักสูตร** วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

**อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์**

(ผศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช)

(อ. พลชัย โชติปรายนกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อปริญญานิพนธ์** | เครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก |
| **นักศึกษา** | นายธวัชชัย โปร่งจิต |
| | นายวศิน เชื้อทอง |
| **หลักสูตร** | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ |
| | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| **ปีการศึกษา** | 2546 |
| **อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์** | ผศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช |
| | อ. พลชัย โชติปรายนกุล |


## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาการออกแบบและเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก วัตถุประสงค์เพื่อลดปัญหาในการหยิบจับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กที่จะนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการทางโลหวิทยา วิธีการอัดชิ้นงานตัวอย่างทำโดยการหลอมพลาสติกเข้ากับชิ้นงานโดยใช้แม่แรงน้ำมันไฮโดรลิกเป็นตัวต้นกำลังหลักในการอัดแบบชิ้นงานพร้อมกับฮีตเตอร์เป็นตัวทำความร้อน เครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติกผลิตแบบชิ้นงานออกมาได้ 3 ขนาด คือ 25 30 และ 35 มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | Mounting Press |
| **Student** | Mr. Thawatchai Prongjit |
| | Mr. Wasin Chueathong |
| **Degree** | Bachelor of Engineering in Industrial Engineering |
| | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| **Academic Year** | 2003 |
| **Thesis Advisor** | Assist Prof. Pornsak Attavanich |
| | Mr. Pholchai Chotiprayanakul |


## Abstract

This project concerns design and development of Mounting Press. The objective is to reduce problem of picking a small metal workpiece in plastic brick which is used in metallurgical laboratory. The specimen mounting process consists of thermosetting plastic melting cover on metal workpiece in metal mold then press or compact with hydraulic jack and heat. The specimen can be produced in 3 sizes of diameter, 25 mm. 30 mm. and 35 mm. upon mold size.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความกรุณาจาก ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช และ อ.พลชัย โชติปรายนกุล ที่ช่วยให้คำปรึกษาและให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางตลอดจนวิธีการแก้ปัญหา ขอขอบคุณนายสมพงษ์ กิจสมัคร ที่ให้คำแนะนำในการหาข้อมูลและเครื่องมือในการทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และอบรมสั่งสอน ซึ่งทำให้มีปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมาได้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ช่วยสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณ บริษัท อาโอยาม่าไทย จำกัด ที่ช่วยให้คำปรึกษาและแนะนำขั้นตอนในการทดสอบแม่แรงไฮโดรลิก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนและทุกๆ ท่านที่มีส่วนร่วมในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอมอบคุณงามความดีของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้แด่ บิดา มารดา ครูอาจารย์ ผู้มีพระคุณทุกท่าน และนายภาคภูมิ หมอดี

นายธวัชชัย โปร่งจิต

นายวศิน เชื้อทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


**บทคัดย่อภาษาไทย** ..... I

**บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** ..... II

**กิตติกรรมประกาศ** ..... III

**สารบัญ** ..... IV

**สารบัญตาราง** ..... VI

**สารบัญภาพ** ..... VII

**บทที่ 1 บทนำ**

1.1 ความสำคัญของโครงงาน ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน ..... 1

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... 1

1.4 ขอบเขตของโครงงาน ..... 1

**บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

2.1 การทดสอบในห้องปฏิบัติการทางโลหวิทยา ..... 2

2.1.1 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของโลหะ ..... 2

2.1.2 การศึกษาโครงสร้างของโลหะและการเกิดผลึก ..... 5

2.1.3 โครงสร้างจุลภาคของเหล็ก ..... 9

2.2 คุณสมบัติและชนิดของพลาสติกที่ใช้ในการอัด ..... 12

2.3 การเตรียมการก่อนการอัดยึดชิ้นงานด้วยพลาสติก ..... 13

2.3.1 การกำหนดปริมาณพลาสติกต่อการทำงาน 1 ครั้ง ..... 13

2.3.2 การให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนอัด ..... 14

2.3.3 ความสำคัญของความดันที่ใช้ในการอัดของพลาสติก ..... 14

2.4 การควบคุมอุณหภูมิ ..... 15

2.4.1 เทคนิคการควบคุมอุณหภูมิที่ร้อน ..... 16

2.4.2 เทคนิคการนำอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำมาใช้ควบคู่ไปกับระบบควบคุม ..... 17

2.5 ชุดควบคุม ..... 19

2.5.1 รีเลย์ ..... 19

2.5.2 รีเลย์ตั้งเวลา ..... 19

2.5.3 ฮีตเตอร์ ..... 20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 เทอร์โมคัปเปิล. ..... 21
2.5.5 เครื่องวัดและ ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล ..... 23
2.5.6 สวิทช์ ..... 23

**บทที่ 3 การออกแบบและการดำเนินงาน**

3.1 แนวคิดในการออกแบบ ..... 25
3.1.1 การคำนวณหาขนาดแม่แรงไฮโดรลิก ..... 25
3.1.2 การเลือกใช้เกจวัดความดันและการติดตั้งเข้ากับชุดแม่แรงไฮโดรลิก ..... 26
3.1.3 การคำนวณหาขนาดของสกรูยึดติดกับเสาค้ำ ..... 26
3.1.4 การคำนวณหาขนาดสปริง ..... 29
3.2 ออกแบบชุดโมลด์ ..... 31
3.3 ออกแบบวงจรควบคุม ..... 31
3.4 หลักการทำงานของเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก ..... 32
3.5 แผนการทดลอง ..... 33

**บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน**

4.1 ผลการดำเนินงานด้านตัวเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก ..... 35
4.1.1 ชุดโมลด์ ..... 36
4.1.2 ฮีตเตอร์ ..... 37
4.2 ผลการดำเนินงานด้านวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงาน ..... 38
4.3 ผลการทดลอง. ..... 39

**บทที่ 5 การสรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน**

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน ..... 41
5.2 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน ..... 41

**บรรณานุกรม**

**ภาคผนวก ก** คู่มือการปรับแต่งเครื่องวัดและ ควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล ..... ผก.

**ภาคผนวก ข** แบบทางวิศวกรรมเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก ..... ผข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ประเภทของเทอร์โมคัปเปิลตามมาตรฐาน ANSI ..... 21
ตารางที่ 2.2 ลักษณะสภาพของการใช้งานและข้อจำกัดของเทอร์โมคัปเปิล ..... 22
ตารางที่ 3.1 ค่าความปลอดภัยที่ใช้ในการออกแบบ ..... 27
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียวมาตรฐาน ..... 28
ตารางที่ 3.3 เกลียวเมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ เกลียวธรรมดา ..... 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ

หน้า


รูปที่ 2.1 เครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ ..... 3
รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบการกระแทก ..... 3
รูปที่ 2.3 เครื่องทดสอบแรงดึง ..... 4
รูปที่ 2.4 กล้องจุลทรรศน์ ..... 8
รูปที่ 2.5 โครงสร้างจุลภาคของเฟอร์ไรท์ ..... 9
รูปที่ 2.6 โครงสร้างจุลภาคของเพียร์ไลท์ ..... 9
รูปที่ 2.7 โครงสร้างจุลภาคของซีเมนไทท์ ..... 10
รูปที่ 2.8 โครงสร้างจุลภาคของออสเทนไนท์ ..... 10
รูปที่ 2.9 โครงสร้างจุลภาคของเลเดบูไรท์ ..... 11
รูปที่ 2.10 โครงสร้างจุลภาคของเบนไนท์ ..... 11
รูปที่ 2.11 โครงสร้างจุลภาคของมาร์เทนไซท์ ..... 12
รูปที่ 2.12 กราฟความสัมผัสระหว่างความดันอัดพลาสติกกับความสูงของชิ้นงาน ..... 15
รูปที่ 2.13 เทอร์โมคัปเปิลและ RTD ..... 18
รูปที่ 2.14 รีเลย์ ..... 19
รูปที่ 2.15 รีเลย์ตั้งเวลา ..... 20
รูปที่ 2.16 ฮีตเตอร์แบบรัดท่อ ..... 21
รูปที่ 2.17 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล ..... 23
รูปที่ 2.18 สวิทช์ไฟฟ้ากดธรรมดา ..... 23
รูปที่ 2.19 สวิทช์ค้างตำแหน่ง ..... 24
รูปที่ 3.1 เกจวัดความดันแบบมีน้ำมันด้านใน ..... 26
รูปที่ 3.2 การยึดสกรูระหว่างชุดเสาค้ำกับโครงเครื่อง ..... 29
รูปที่ 3.3 วงจรควบคุม ..... 32
รูปที่ 3.4 โครงสร้างภายในของเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติกที่ทำการออกแบบ ..... 33
รูปที่ 3.5 ชิ้นงานโลหะที่จะนำมาอัดเข้ากับผงเบคเคอไลท์ ..... 33
รูปที่ 3.6 ผงเบคเคอไลท์ที่จะนำมาอัด ..... 34
รูปที่ 4.1 โครงสร้างโดยรวมของเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก ..... 35
รูปที่ 4.2 โครงสร้างภายในของเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก ..... 36
รูปที่ 4.3 โมลด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูใน 25 30 และ35 มิลลิเมตร ..... 36
รูปที่ 4.4 ฝาปิดชุดโมลด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 30 และ35 มิลลิเมตร ..... 37
รูปที่ 4.5 ฐานอัดโมลด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 30 และ35 มิลลิเมตร ..... 37
รูปที่ 4.6 ฮีตเตอร์รัดท่อ ..... 37
รูปที่ 4.7 ชุดอุปกรณ์ควบคุม ..... 38
รูปที่ 4.8 การต่อวงจรไฟฟ้ากับชุดอุปกรณ์ควบคุม ..... 39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้หลังจากการอัด ..... 40
รูปที่ 4.10 ชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 3 ขนาดที่ได้หลังจากการอัด ซึ่งมีการใส่ชิ้นงานโลหะลงไป ..... 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญของโครงงาน

ในการทดสอบชิ้นงานในห้องปฏิบัติการทางโลหวิทยา การตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจสอบเกี่ยวกับชนิดของภาค (Phase) การกระจายของภาค ตลอดจนลักษณะและขนาดของโครงสร้างผลึก นอกจากนั้นยังสามารถทราบถึงสภาวะของโลหะได้ว่าเป็นสารละลายของ แข็ง สารประกอบ หรือบริสุทธิ์ องค์ประกอบต่างๆดังกล่าวแล้วนั้นมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติทั้งทางกลและทางกายภาพของโลหะ การเตรียมชิ้นงานทดสอบ ถ้าชิ้นงานตัวอย่างมีขนาดเล็กหรือบาง จะต้องนำไปทำการอัดชิ้นงานตัวอย่างหรือทำการตรึงก่อน หมายถึง การจับยึดชิ้นงานทดสอบด้วยวัสดุอื่น เช่น สารสังเคราะห์ พลาสติกหรือเรซิน สามารถทำได้หลายวิธี ทั้งที่ใช้ความร้อนและไม่ใช้ความร้อน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก
2. เพื่อสามารถสร้างและออกแบบเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติกได้

## 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการทดลองในห้อง ปฏิบัติการโลหวิทยา
2. เพื่อให้สามารถจับถือได้สะดวกขณะเตรียมการและทำการตรวจสอบ
3. เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมกับเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์หรือกล้องที่ใช้ในการตรวจสอบ
4. เพื่อให้สามารถทำเครื่องหมายได้ง่าย เช่น หมายเลข รหัสหรือสัญลักษณ์อื่นๆ

## 1.4 ขอบเขตของโครงงาน

1. ออกแบบและสร้างเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติกที่อุณหภูมิ 150 - 160 องศาเซลเซียส
2. สามารถเตรียมชิ้นงานได้ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 30 และ35 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 การทดสอบในห้องปฏิบัติการทางโลหวิทยา

ในการศึกษาคุณสมบัติของโลหะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาในเรื่องของเหล็กแล้ว มีทั้งการศึกษาทางกลและการศึกษาโครงสร้างภายในเนื้อเหล็กคือ

### 2.1.1 การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของโลหะ

2.1.1.1 การทดสอบความแข็ง (Hardness Test) เป็นการทดสอบที่จะใช้ความหมายของความแข็งของโลหะให้กระจ่างลงไป เช่น คุณสมบัติที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะความแข็งนั้นมีส่วนสัมพันธ์กับโครงสร้างของโลหะและส่วนผสม ด้วยเหตุนี้ความหมายของการทดสอบความแข็งจึงแตกต่างกันหลายชนิดในการทดสอบนั้นจึงวัดความต้านทานแบบต่างๆ เช่น การวัดค่าความต้านทานจากรอยขูด การสึกหรอ เป็นต้น การวัดค่าความต้านทานนั้นวัดได้จากการที่ใช้หัวกดๆลงบนโลหะโดยกำหนด Static load ที่เลือกใช้กับการทดสอบความแข็งให้เหมาะสม และดูค่าความสึกบนผิวโลหะ ซึ่งการทดสอบความแข็ง มีอยู่หลายวิธี แต่ที่ใช้กันมากที่สุดมี 3 วิธี คือ

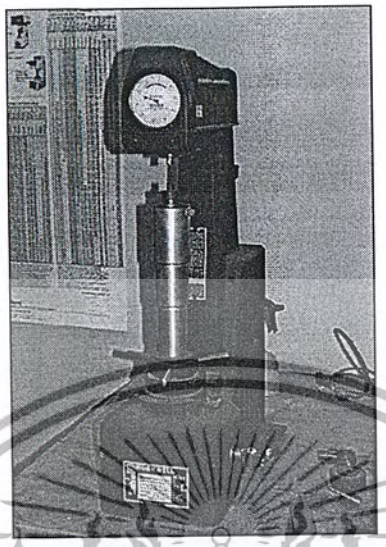
1. การทดสอบความแข็งบริเนลล์ (Brinell Hardness Test) วิธีการ คือ ใช้ลูกบอลเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งมาอย่างดี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร กดลงบนผิวเรียบของวัสดุที่จะวัด โดยใช้แรง 3000 กิโลกรัม สำหรับวัสดุแข็ง และ 500 กิโลกรัม สำหรับวัสดุอ่อนโดยใช้เวลา 30 วินาที เป็นมาตรฐาน จากนั้นวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยบุ๋ม (Indentation) นำค่าที่ได้ไปคำนวณจะได้ค่าความแข็งแรงแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Number) การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์นี้ไม่เหมาะสมกับวัสดุแข็งเนื่องจากความแข็งของหัวกดไม่มากนัก นอกจากนี้ ยังไม่เหมาะกับชิ้นทดสอบที่บางกว่าขนาดของรอยบุ๋ม

2. การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test) การทดสอบแบบวิกเกอร์ส นี้คล้ายกับบริเนลล์ ในแง่ที่ว่าค่าที่ได้เป็นอัตราส่วนระหว่างแรงที่ใช้ต่อพื้นที่ของรอยกด แต่ต่างกันที่หัวกดที่ใช้เป็นเพชรรูปปิระมิดแรงที่ใช้มีตั้งแต่5-120กิโลกรัมขึ้นอยู่กับความแข็งของวัสดุ

3. การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Test) การทดสอบแบบนี้คล้ายกับการทดสอบแบบบริเนลล์ แต่ใช้หัวกดเล็กกว่าและแรงน้อยกว่า ค่าของแรงที่ใช้และชนิด หรือขนาดของหัวกดจะเปลี่ยนได้ ขึ้นอยู่กับสเกลของความแข็งแบบแบบร็อคเวลล์ ที่เราจะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบ การอ่านค่าความแข็งจะอ่านโดยตรงจากเครื่อง กล่าวคือ ถ้าความลึกของรอยกดลงไปคื้น ค่าของตัวเลขจะสูง แสดงว่าวัสดุมีความแข็งมาก วิธีการทดสอบจะให้แรงกระทำเล็กน้อยคือ 10 กิโลกรัม จากนั้นจะเพิ่มแรงกระทำขึ้น ซึ่งอาจจะมีตั้งแต่ 60-100 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับขนาดและชนิดของหัวกด นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะทดสอบด้วย หัวกดที่ใช้อาจจะเป็นลูกบอลเหล็กหรือเพชรที่มีรูปกรวย การทดสอบแบบร็อคเวลล์ นี้ ใช้อย่างกว้างขวางเพราะสามารถใช้วัดความแข็งของวัสดุชนิดต่าง ๆ ได้มากกว่า สามารถวัดความแข็งของวัสดุที่การทดสอบแบบบริเนลล์วัดไม่ได้ การใช้งานสะดวกอ่านค่าได้รวดเร็ว เพราะอ่านโดยตรงจากเครื่อง และเนื่องจาก

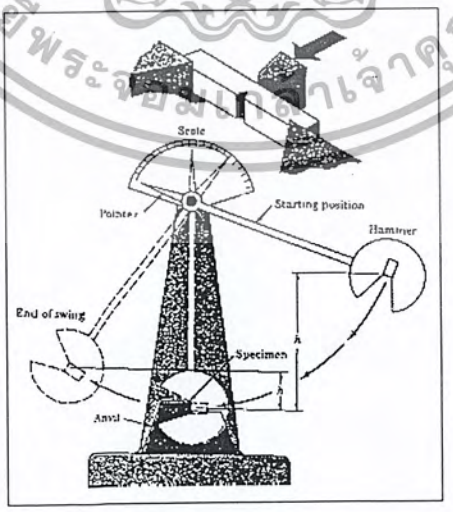
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รอยบุ๋มมีขนาดเล็กจึงไม่ทำลายผิวของชิ้นทดสอบ



**รูปที่ 2.1 เครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell)**

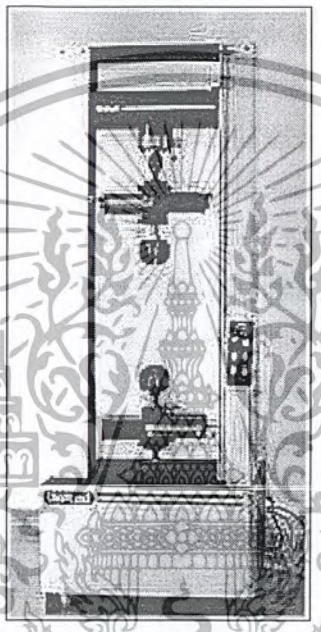
2.1.1.2 การทดสอบการกระแทก (Impack test load) การทดสอบการกระแทกสามารถใช้ในการหาช่วงอุณหภูมิสำหรับการเปลี่ยนแปลงจากพฤติกรรมของความเหนียวไปสู่ความเปราะ สำหรับโลหะและโลหะผสมในขณะที่อุณหภูมิต่ำลง ความเข้มข้นของคาร์บอนของเหล็กกล้าที่ผ่านการอบอ่อนมา มีผลต่อช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนคือเหล็กเปอร์เซ็นต์คาร์บอนต่ำ มีช่วงการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนต่ำกว่าและแคบกว่า ถ้าเปอร์เซ็นต์ของเหล็กกล้าเพิ่มขึ้น เหล็กกล้านั้นจะเปราะยิ่งขึ้นและพลังงานที่ถูกดูดซึมในการกระแทกระหว่างการแตกจะลดลง




**รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบการกระแทก**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 การทดสอบแรงดึง (Tensile test) การทดสอบแรงดึงของวัสดุมีจุดประสงค์เพื่อที่จะหาค่าทางกลของวัสดุเมื่อมีแรงประเภทแกนเดียวและกระจายสม่ำเสมอ ทั้งพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบ โดยใช้เครื่องทดสอบแรงหรือเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์ ในระหว่างการทดลอง แรงที่ใช้ในการดึงวัสดุจะถูกบันทึกไว้บนแผ่นกระดานกราฟ ซึ่งเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ในขณะเดียวกันค่าความเครียดที่สมนัยกับแรงดึงจะถูกบันทึกไว้บนกระดาษกราฟเช่นเดียวกัน ค่าความเครียดได้มาจากสัญญาณจากเครื่องวัดการยืดซึ่งยึดติดไว้กับชิ้นงานทดลอง ซึ่งการทดสอบจะใช้ชิ้นทดสอบแรงดึงมีรูปร่างลักษณะต่างๆกัน ตามมาตรฐาน DIN, ASTM, JIS, BS ซึ่งจะกำหนดรูปร่าง และขนาดไว้อย่างละเอียด



รูปที่ 2.3 เครื่องทดสอบแรงดึง

2.1.1.4 การตรวจสอบโลหะโดยไม่ทำลายสภาพ (NON-DESTRUCTIVE TESTING OF METALS) เป็นการตรวจสอบดูสภาพภายนอกของโลหะด้วยการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เข้าช่วย สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. การตรวจสอบโดยวิธีการสารแทรกซึม (Penetration methods) โดยการจุ่มโลหะลงในของเหลวที่เหมาะสมแล้วนำบริเวณนั้นทำความสะอาดและแห้ง แล้วใช้ความร้อนลนโลหะ ถ้ามีรอยแตกร้าวจะพบของเหลวนั้นไหลออกมา

2. การตรวจสอบโดยวิธีแม่เหล็ก (Magnatic crack detection) วิธีนี้อาศัยหลักที่ว่าถ้าวัสดุบริเวณใดมีรอยแตกร้าวแล้วจะพบว่าบริเวณนั้นจะมี Magnetic Permeabelity ต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ

3. การตรวจสอบโดยวิธีไฟฟ้า (Electrical methods) เป็นวิธีที่อาศัยการสังเกตดูผลการกระจายของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโลหะซึ่งมีอยู่ 2 วิธี

- วิธีวัดความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับ (Direct current resistance method)
- วิธีกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy – current method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตรวจสอบโดยการแผ่รังสี (Radiography) เป็นวิธีที่ใช้รังสีในการทดสอบ เป็น รังสีเอ็กซ์ รังสีแกมมา

5. การตรวจสอบโดยลักษณะการป้องกันเสียงสะท้อน (Acoustical methods) การตรวจสอบโดยลักษณะการป้องกันเสียงสะท้อน มีดังนี้

- Sonic methods เป็นวิธีที่อาศัยความชำนาญในการพิจารณา Damping capacity ของโลหะจากการฟังเสียง
- Ultrasonic testing วิธีนี้อาศัยหลักของการส่งผ่านลำเสียงของ Ultrawaves ไปยังส่วนของชิ้นงานที่ต้องการทดสอบ

### 2.1.2 การศึกษาโครงสร้างของโลหะและการเกิดผลึก

เป็นการศึกษาที่ว่าด้วยการศึกษาโครงสร้างของโลหะโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อตรวจสอบชนิดของภาค (Phase) การกระจายตัวของภาค ตลอดจนลักษณะและขนาดของโครงสร้างผลึก นอกจากนั้นยังสามารถทราบถึงสภาวะของโลหะได้ว่าเป็นสารละลายของแข็ง สารประกอบ หรือสารบริสุทธิ์ องค์ประกอบดังกล่าวนั้นมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติทั้งทางกลและทางกายภาคของโลหะ

การศึกษาโครงสร้างโลหะสามารถแยกออกมาได้เป็น 2 ลักษณะ คือ โครงสร้างจุลภาค และโครงสร้างมหาภาค การศึกษาโครงสร้างของโลหะจะมีประสิทธิภาพและคุณภาพขึ้นอยู่กับขั้นการเตรียมชิ้นงานทดสอบเป็นสำคัญ ซึ่งชิ้นงานทดสอบจะต้องผ่านการปรับระดับผิวหน้าและผ่านการขัดผิวให้เรียบไม่มีรอยขีดข่วน มีลักษณะเป็นมัน ถ้าขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานทดสอบไม่ดี ก็ไม่สามารถวิเคราะห์หรือมองภาพจากกล้องจุลทรรศน์ได้ชัดเจนและถูกต้อง ดังนั้นการเตรียมชิ้นงานทดสอบจึงต้องอาศัยประสบการณ์เทคนิคประกอบ ซึ่งปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือการเตรียมการอย่างเป็นขั้นตอน รวมถึงสภาพการทำงานที่สะอาด ระหว่างขั้นตอนการทำงานทั้งหมด

2.1.2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ การเตรียมชิ้นงานทดสอบเพื่อการศึกษาโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ แบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- การสุ่มตัวอย่างและการตัดชิ้นงานตัวอย่าง
- การตรึง (Mounting) ชิ้นงานตัวอย่าง
- การขัดด้วยกระดาษทราย
- การขัดมัน
- การกัดด้วยสารละลาย
- การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์

1. การสุ่มตัวอย่างและการตัดชิ้นงานตัวอย่าง ชิ้นงานทดสอบที่จะนำมาตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ ต้องคัดเลือกและสุ่มตัวอย่างให้เหมาะสมกับสิ่งต้องการตรวจสอบ การตัดชิ้นงานเพื่อนำไปตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ ระหว่างทำการตัดต้องระวังไม่ให้ชิ้นงานร้อน เพราะความร้อนจะเป็นสาเหตุทำให้ลักษณะโครงสร้าง ขนาดของโครงสร้างผลึกเปลี่ยนแปลงได้ การตัดที่นิยมใช้กันมากคือเลื่อยมือ เครื่องเลื่อยหรือตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบเฉพาะเรียกว่าการตัดเย็น นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการซึ่งสามารถตัดชิ้นงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเล็กและบาง ชิ้นงานที่ตัดเพื่อนำไปตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งถ้าชิ้นงานมีขนาดเล็กหรือบางจะต้องนำไปทำการตรึง (Mounting) ก่อน

2. การตรึง (Mounting) ชิ้นงานตัวอย่าง เป็นการจับยึดชิ้นงานทดสอบด้วยวัสดุอื่น เช่น สารสังเคราะห์, พลาสติก หรือเรซิน เพื่อให้สามารถจับถือได้สะดวกขณะเตรียมการและทำการตรวจสอบ, เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมกับเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์หรือกล้องที่ใช้ตรวจสอบ, เพื่อสามารถทำเครื่องหมายได้ง่าย

การตรึงชิ้นงานที่นิยมกันมาก คือ

การตรึงเย็น การตรึงจะใช้วัสดุพวกสังเคราะห์ ได้แก่ โพลีเอสเตอร์, อีพอกซี่, อาคลีลิก เป็นต้น วิธีตรึงเย็นนี้กระทำได้โดยใช้วัสดุที่มีส่วนผสม 2 ส่วนคือ สารสังเคราะห์ กับสารทำให้แข็งตัว ทั้ง 2 ส่วนอาจเป็นของเหลวหรืออย่างหนึ่งเป็นของเหลว อีกอย่างเป็นของแข็งก็ได้ เมื่อผสมทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันจะทำให้เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนและทำให้แข็งตัวห่อหุ้มชิ้นงานตามความต้องการ

การตรึงด้วยแรงดัน การตรึงจะใช้วัสดุพวกพลาสติกอ่อน ได้แก่ อาคลีลิก หรือพวกพลาสติกแข็ง ได้แก่ เบคเคอไลท์, ลูไซด์ ทำให้เป็นผงหรือเม็ด การตรึงกระทำได้โดยใช้เครื่องอัดที่ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ แม่พิมพ์โลหะเป็นรูปทรงกระบอก ระบบแรงดันอาจใช้ลมหรือน้ำมัน ระบบการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์สามารถตั้งอุณหภูมิได้ระหว่าง 70 – 200 องศาเซลเซียส

การตรึงด้วยปากกา วิธีนี้เหมาะสำหรับชิ้นงานทดสอบเป็นแผ่นบาง ที่ต้องการตรวจสอบโครงสร้างที่ขอบ โดยใช้แผ่นปะกันทั้ง 2 ข้าง และยึดด้วยปากกาจับยึดแบบขนาด การตรึงงานด้วยวิธีนี้ รอยต่อระหว่างแผ่นปะกับชิ้นงานทดสอบ มักจะเป็นร่องหรือช่องว่างทำให้มีเศษโลหะที่เกิดจากการขัดและของเหลวตกค้างอยู่ ทำให้การเตรียมชิ้นงานทดสอบไม่ค่อยได้ผลดีเท่าที่ควร

การตรึงด้วยวัสดุผสมสารตัวนำ วิธีนี้ใช้กับชิ้นงานทดสอบที่ต้องการเตรียมชิ้นงานด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอลิติก (Electrolytic) วิธีการตรึงเช่นเดียวกับการตรึงด้วยแรงอัด แต่แตกต่างตรงวัสดุที่ใช้มีส่วนผสมผงโลหะเป็นตัวนำ เช่น ผงทองแดง ผงเหล็ก ซึ่งอนุภาคของผงโลหะจะเป็นตัวทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานได้อย่างต่อเนื่อง และทั่วถึงวัสดุยึด

การตรึงชิ้นงานเป็นมุมเอียงวิธีนี้ใช้กับชิ้นงานทดสอบที่ทำการชุบแข็งผิวหรือเคลือบผิว เพื่อต้องการทราบลักษณะโครงสร้างที่ผิว ชั้นของความแข็งลึก ชั้นของผิวที่เคลือบ และบริเวณผิวที่เกิดการแพร่ซึม

3. การขัดด้วยกระดาษทราย การขัดผิวด้วยกระดาษทรายเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ เนื่องจากการขัดด้วยกระดาษทรายเป็นการขัดระนาบผิวขัดให้ได้ระดับเรียกว่า การขัดหยาบหรือปรับระนาบ และการปรับผิวหน้าให้เรียบเรียกว่าการขัดละเอียด ในกรณีชิ้นงานทดสอบผิวหน้าไม่เรียบและเอียง อีกทั้งเป็นการลดรอยขีดข่วนให้น้อยลงจนกระทั่งไม่มีรอยขีดข่วนบนผิวหน้างาน ถ้าผิวชิ้นงานไม่เรียบมีรอยและเอียงจะทำให้ขั้นการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ได้ภาพที่ไม่ถูกต้องและคาดเคลื่อนจากความเป็นจริง การขัดด้วยกระดาษทรายชิ้นงานทดสอบจะต้องทำการลบมุมเหลี่ยมก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้กระดาษทรายขาดในระหว่างทำการขัด การขัดเริ่มต้นด้วยกระดาษทรายเบอร์หยาบก่อน คือกระดาษทรายเบอร์ 80 – 150 ในกรณีชิ้นงานทดสอบผ่านการตัดด้วยเลื่อยมือหรือเครื่องเลื่อย และขัดกระดาษทรายเบอร์ 150 – 180 ในกรณีชิ้นงานทดสอบผ่านการตัดด้วยเครื่องตัดชิ้นงานทดสอบ การขัดกระดาษทรายมักขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ต่างๆ จากหยาบจนกระทั่งละเอียดที่สุดคือ เบอร์ 80, 240, 320, 400, 600, 800, 1000 และ1200 การขัดด้วยกระดาษทรายไม่ควรขัดข้ามเกินสองเบอร์ เพราะทำให้ใช้เวลาในการขัดนานและรอยขีดขวนไม่หมด การขัดกระดาษทรายไม่ควรใช้แรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กดมากเกินไปจะทำให้เกิดรอยขัดบนผิวหน้าลึกเกินไป มีขนาดไม่สม่ำเสมอ เศษผงขัดอาจฝังอยู่ในรอยขัดและระนาบผิวขัดเอียงหรือบิดเบี้ยวได้ ในการขัดจะใช้วิธีการขัดเปียกโดยให้น้ำไหลผ่านกระดาษทรายตลอดเวลา เพราะน้ำจะช่วยพัดพาเอาเศษผงขัดออกไปจากผิวหน้าและช่วยหล่อเย็นไม่ให้ผิวชิ้นงานทดสอบร้อน วิธีการขัดกระทำได้ 2 วิธี คือ การขัดมือ และการขัดด้วยเครื่องอาจเป็นเครื่องขัดแบบสายพาน จานขัด, แลบปิ้ง และการขัดอัตโนมัติ

ผงขัดที่ใช้ทำการขัดแบ่งได้ 2 ประเภท

ผงขัดตามธรรมชาติ ได้แก่ เพชร คอรันดัม การ์เนท อีเมอรี ควอรท เป็นต้น

ผงขัดประดิษฐ์ขึ้น เป็นผงขัดที่ผลิตขึ้นมาได้แก่ กากเพชร ซิลิกอน คาร์ไบด์ เป็นต้น

การใช้งานของผงขัดโดยทั่วไปนิยมนำไปยึดติดบนแผ่นกระดาษ ผ้าจาน และสายพาน ด้วยตัวประสานที่มีรูปร่างและขนาดต่างๆตามความเหมาะสมของการใช้งาน

4. การขันมัน เป็นขั้นตอนการขัดผิวชิ้นงานทดสอบขั้นสุดท้าย เพื่อขจัดรอยขีดข่วนที่เกิดจากขั้นตอนการขัดผิวด้วยกระดาษทรายให้หมดไป และให้ผิวงานเรียบเป็นมันเงา การขัดมันทำได้หลายวิธีได้แก่ การขัดด้วยมือ การขัดด้วยเครื่องอัตโนมัติ การขัดด้วยวิธีอิเล็กทรอไลท์ และการขัดด้วยวิธีพิเศษ เป็นต้น ซึ่งการขัดมันกระทำโดยใช้ผ้าขัดกับผงขัดหรือสารขัด ผ้าขัดที่ดีควรมีคุณสมบัติ คือ สามารถรองรับผงขัดหรือสารขัดได้ดี สามารถใช้นานไม่เกิดการเสียหายได้ง่าย สะอาดปราศจากสารมลทินอื่นๆที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อผิวหน้าชิ้นงาน ไม่มีสารเคมีปะปนอยู่ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับชิ้นงาน

ผ้าขัดที่ใช้ในการขัดมันโดยทั่วไปทำด้วยผ้า ได้แก่ ผ้าฝ้าย ผ้าใบ ผ้าสักหลาด ผ้าไหม เป็นต้น และหนัง ได้แก่ หนังชามัวร์ เป็นต้น การใช้ผ้าขัดที่มีขนน้อยและไม่มีขนหรือความนุ่มนวลน้อย มักใช้ได้กับการขัดมันหยาบ เพราะจะทำให้ผิวชิ้นงานมีโอกาสสัมผัสกับผงขัดได้มากและขัดได้เร็ว ผ้าขัดที่มีขนขัดปานกลางและมากหรือมีความนุ่มมาก ใช้ในการขัดมันละเอียดหรือขัดขั้นสุดท้าย

ผงขัดหรือสารขัด ที่ใช้ในขั้นตอนการขัดมัน เป็นผงขัดที่มีความละเอียดสูงสามารถแบ่งตามชนิดของวัสดุได้ 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ผงขัดชนิดผงออกไซด์ และ ผงขัดชนิดผงเพชร

5. การกัดสารละลาย การกัดสารละลายเพื่อตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยทั่วไปกระทำได้ 2 วิธีคือ

การกัดสารละลายมหภาค เป็นการกัดสารละลายสำหรับตรวจสอบโครงสร้างมหภาค ใช้สำหรับการตรวจโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายต่ำหรือสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า สำหรับการกัดสารละลายมหภาค การเตรียมชิ้นงานอาจขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 800 หรือ 1,000 เป็นอย่างน้อย หรืออาจขัดมัน

การขัดสารละลายจุลภาค เป็นการขัดสารละลายสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ใช้สำหรับการตรวจสอบโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง ดังนั้นการเตรียมชิ้นงานจึงต้องให้ผิวหน้างานเรียบเป็นมันปราศจากรอยขีดข่วน การกัดสารละลายจุลภาคกระทำได้ 2 ระบบคือ ระบบขาวดำ และระบบโครงสร้างสี

6. การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ เป็นการใช้กล้องจุลทรรศน์ตรวจดูโครงสร้างภายในเนื้อโลหะ อาจเป็นการดูโครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาค กล้องจุลทรรศน์สำหรับดูโครงสร้างภายในเนื้อโลหะที่ใช้กันมากมี 2 ชนิดคือ กล้องจุลทรรศน์แบบออพทิคอล และกล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็คตรอน

การเตรียมชิ้นงานทดสอบเพื่อการตรวจสอบโครงสร้างภายในเนื้อโลหะด้วยกล้องจุลทรรศน์นั้น ถ้าการเตรียมชิ้นงานทดสอบไม่ดีจะทำให้การตรวจสอบ การวิเคราะห์หรือการวินิจฉัยโครงสร้างผิดไปจากความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบให้สมบูรณ์โดยไม่มีตำหนิหรือข้อบกพร่องเกิดขึ้นนั้นกระทำได้ยาก เพราะองค์ประกอบในการตรวจสอบโครงสร้างภายในเนื้อโลหะด้วยกล้องจุลทรรศน์มีมากมาย คือ

รอยขีดข่วน เป็นร่องรอยที่ปรากฏอยู่บนผิวหน้าของชิ้นงานทดสอบ เกิดขึ้นจากคมตัด หรือผงในการขัดหยาบและการขัดมัน

ขอบมน ผิวหน้าชิ้นงานทดสอบมีลักษณะโค้งนูนหรือมนเป็นรัศมี ผิวหน้าไม่เรียบเป็นระนาบเดียวกัน

การเปลี่ยนรูป เนื้อโลหะเกิดการเปลี่ยนรูปในขั้นการบด หรือการขัดมัน ซึ่งจะมองเห็นแนวหรือลักษณะการเปลี่ยนรูปได้ภายหลังการกัดกรด ลักษณะการเปลี่ยนรูปเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะคือ เส้นสั้น เส้นคม และเส้นที่อ

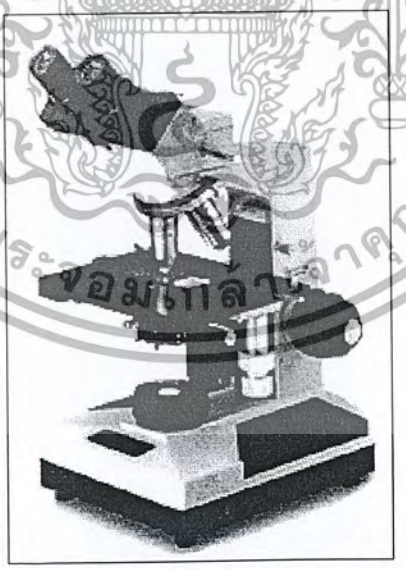
ผิวซ้อน เป็นลักษณะของการเกิดการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานเป็นบริเวณกว้าง และเห็นเป็นขั้นๆ เกิดจากตัวผงขัดไม่คม ซึ่งผงขัดแทนที่จะทำหน้าที่เป็นตัวตัดให้เนื้อชิ้นงานขาด แต่กลับเป็นตัวดันให้เนื้อชิ้นงานเคลื่อนที่ไป

ผิวหลุด เป็นลักษณะร่องรอยของอนุภาคเล็กๆ หรือสิ่งเจือปนในเนื้อโลหะหลุดออกจากผิวชิ้นงานในระหว่างทำการขัดมีลักษณะเป็นจุดหรือรูดำๆ เป็นแนวยาว

หางดาวหาง ผิวหน้าชิ้นงานเกิดรอยขีดข่วนหรือตำหนิมีรูปคล้ายดาวหาง

ผงขัดฝังตัว ในขั้นการขัดชิ้นงานเตรียมทดสอบ ล้างผงขัดมันออกไปไม่หมดทำให้ผงขัดเกาะติดผิวหน้าหรือฝังตัวอยู่ที่ผิวหน้า

คราบ ผิวหน้าชิ้นงานเกิดเป็นลอยด่าง หรือเป็นคราบเกาะอยู่ มักเกิดขึ้นเสมอภายหลังการทำความสะอาดชิ้นงานและหลังการกัดกรด



**รูปที่ 2.4 กล้องจุลทรรศน์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 โครงสร้างจุลภาคของเหล็ก

ส่วนผสมทางเคมีและอัตราการเย็นตัวมีผลต่อโครงสร้างจุลภาคของโลหะแต่ละชนิดต่างกัน ตัวอย่างโครงสร้างจุลภาคของเหล็กและโลหะนอกกลุ่มเหล็กบางชนิด โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน

เฟอร์ไรท์ (Ferrite)

เป็นสารละลายของแข็งระหว่างเหล็กคาร์บอนโดยมีคาร์บอนแทรกตัวอยู่ตามช่องว่างระหว่างอะตอมในโครงผลึกที่ตำแหน่ง (0, 0, 1/2) เฟอร์ไรท์ละลายคาร์บอนได้สูงสุดที่อุณหภูมิวิกฤติ (723 องศาเซลเซียส) ที่อุณหภูมิละลายได้ประมาณ 0.008 เปอร์เซ็นต์ และที่ศูนย์ (0) องศา ละลายได้ประมาณ 0.0025 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเฟอร์ไรท์ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอน ถ้าปริมาณคาร์บอนต่ำจะมีเฟอร์ไรท์มาก ถ้าปริมาณคาร์บอนสูงขึ้นปริมาณเฟอร์ไรท์จะลดลง เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเฟอร์ไรท์เป็นเม็ดเกรนสีขาวและขอบเกรนเป็นสีดำ

**รูปที่ 2.5 โครงสร้างจุลภาคของเฟอร์ไรท์**

เพียร์ไลท์ (Pearlite)

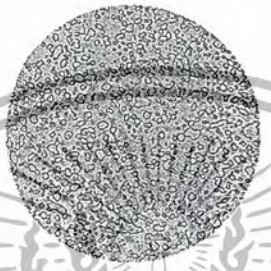
เป็นโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรท์และซีเมนไทท์ โดยทั่วไปเรียกว่า เฟิลไลท์ เกิดจากปฏิกิริยายูเทคตอยด์ ประกอบด้วยเฟอร์ไรท์เรียงสลับกับซีเมนไทท์ มีทั้งชนิดแผ่นและชนิดกลม เพียร์ไลท์เกิดขึ้นทั้งในเหล็กและโลหะนอกกลุ่มเหล็กบางชนิด เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายต่ำจะเห็นเพียร์ไลท์เป็นแกนสีดำ เมื่อใช้กำลังขยายสูงขึ้นจะเห็นเพียร์ไลท์ประกอบด้วยเส้นสีดำสลับบนพื้นสีขาว เพียร์ไลท์หยาบมีความแข็งประมาณ 170 BHN เพียร์ไลท์ละเอียดมีความประมาณ 375 BHN

**รูปที่ 2.6 โครงสร้างจุลภาคของเพียร์ไลท์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีเมนไทท์ (Cementite)

เป็นสารประกอบระหว่างเหล็กและคาร์บอน โดยมีปริมาณคาร์บอน 6.67% บางทีเรียกว่าคาร์ไบด์หรือเหล็กคาร์ไบด์ ที่ถูกต้องควรเรียกว่าซีเมนไทท์ เพราะถ้าเรียกคาร์ไบด์อาจเข้าใจผิดเป็นคาร์ไบด์ระหว่างโลหะอื่นกับคาร์บอนเพราะคาร์ไบด์มีหลายชนิด (เหล็กคาร์ไบด์ ซิลิกอนคาร์ไบด์ โครเมียมคาร์ไบด์ ฯลฯ) หรือถ้าเรียกเหล็กคาร์ไบด์ก็ยังไม่ถูกต้องนักเพราะเหล็กคาร์ไบด์อาจหมายถึงเอ็ฟซีลอนคาร์ไบด์ก็ได้ ซีเมนไทท์มีทั้งชนิดแผ่นตาข่าย และกลม ถ้าเกิดรวมกันกับเฟอร์ไรท์จะกลายเป็นเพิลไลท์ ถ้าเกิดรวมกันกับเพิลไลท์จะกลายเป็นเลเดบูไรท์ เฉพาะซีเมนไทท์มีความแข็งแรงดึงประมาณ 350,000



**รูปที่ 2.7 โครงสร้างจุลภาคของซีเมนไทท์**

ออสเทนไนท์ (Austenite)

ออสเทนไนท์เป็นสารละลายของแข็งระหว่างเหล็ก - คาร์บอน มีโครงสร้างผลึกเป็น fcc หนึ่งหน่วยเซลประกอบด้วยอะตอม 4 อะตอม ละลายคาร์บอนได้สูงสุด 2% ที่ 1130 องศาเซลเซียส (2066 องศาฟาเรนไฮต์) ที่ $A_1$ ละลายคาร์บอนได้ประมาณ 0.8% (ในเหล็กกล้าคาร์บอน) ออสเทนไนท์ในเหล็กกล้าคาร์บอนจะเริ่มเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ $A_1$ และเกิดออสเทนไนท์อย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ $A_3$ และ $A_{cm}$ (ต้องใช้เวลาอบนาน) และที่อุณหภูมิต่ำออสเทนไนท์จะไม่เสถียรนอกจากในเหล็กกล้าผสมบางชนิด เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนไนติก เหล็กกล้าผสมแมงกานิสสูง (Ni-hard)

**รูปที่ 2.8 โครงสร้างจุลภาคของออสเทนไนท์**

เลเดบูไรท์ (Ledeburite)

คำว่าเลเดบูไรท์ในความหมายทั่วไป หมายถึง เลเดบูไรท์เปลี่ยนรูป หรือ Transformed ledburite ซึ่งเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างเลเดบูไรท์ ที่อุณหภูมิ $A_1$ ตามปฏิกิริยายูเทคตอย

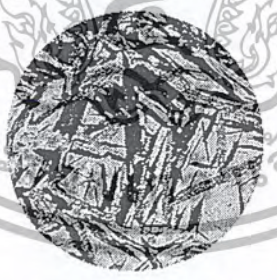
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างเลเดบูไรท์เป็นยูเทคติคของระบบเหล็ก - คาร์บอน (4.3%C) ซึ่งเกิดขึ้นกับเหล็กหล่อเย็นเร็ว และเหล็กหล่อสีขาว

**รูปที่ 2.9** โครงสร้างจุลภาคของเลเดบูไรท์

เบนไนท์ (Bainite)

เบนไนท์เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการชุบ มี 2 ชนิด คือเบนไนท์บน (Upper bainite) และเบนไนท์ล่าง (Lower bainite) เดิมที่เรียกเบนไนท์บนว่า ซอร์ไบท์ (Sorbite) และเบนไนท์ล่างว่า ทรูสไทท์ (troostite) มีลักษณะคล้ายมาร์เทนไซท์มาก ต่างกันที่เมื่อกัดน้ำยาแล้วตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเป็นสีดำ (มาร์เทนไซท์เห็นเป็นสีน้ำตาลแก่) เบนไนท์มีลักษณะคล้ายขนนก (มาร์เทนไซท์ลักษณะคล้ายแท่งเข็ม) เบนไนท์เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของออสเทนไนท์ที่อุณหภูมิสูงกว่า $M_s$ แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเพิลไลท์ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมและปริมาณคาร์บอนในเหล็กและที่สำคัญที่สุดคือ ความสำคัญของเวลา – อุณหภูมิระหว่างการเย็นตัวของออสเทนไนท์ เบนไนท์เกิดขึ้นทั้งในเหล็กและโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (เช่น ทองเหลืองเบต้า)



**รูปที่ 2.10** โครงสร้างจุลภาคของเบนไนท์

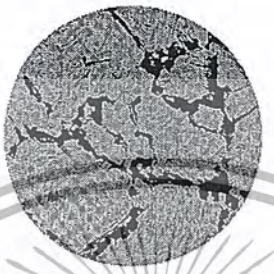
มาร์เทนไซท์ (Martensite)

มาร์เทนไซท์เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการเย็นตัวอย่างรวดเร็วของออสเทนไนท์ (ชุบ) ปกติจะมีลักษณะเป็นแท่งยาวคล้ายแท่งเข็มวางอยู่ไม่เป็นระเบียบทั่วเนื้อโลหะ มาร์เทนไซท์ที่เกิดจากการชุบเรียกว่า มาร์เทนไซท์ขาว เมื่อนำไปอบคืนไฟ (Temper) มาร์เทนไซท์จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแก่เรียกว่า เทมเปอร์มาร์เทนไซท์

มาร์เทนไซท์เกิดขึ้นโดยไม่เกิดการแพร่ (ของคาร์บอน) ดังนั้นการเกิดมาร์เทนไซท์จึงขึ้นอยู่กับการเย็นตัว ไม่ได้ขึ้นกับเวลาดังเช่น เพิลไลท์หรือเบนไนท์ อุณหภูมิเริ่มเกิดมาร์เทนไซท์เรียกว่า $M_s$ (Martensite start)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิที่เกิดมาร์เทนไซท์สมบูรณ์เรียกว่า $M_f$ (Martensite finish) อุณหภูมิ$M_s$ และ $M_f$ จะสูงหรือต่ำแค่ไหนนั้นขึ้นอยู่กับส่วนผสมทางเคมีเหล็กบางชนิดมี $M_s$ และ $M_f$ ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง มาร์เทนไซท์อาจมีโครงสร้างผลึกหลายแบบ เช่นในเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางและสูงเกิดเป็นมาร์เทนไซท์ bct (body center tetragonal) ในเหล็กผสมจำพวก Fe-Ni, Fe-Ni-Cr เกิดเป็นมาร์เทนไซท์ bcc, ในเหล็ก Fe-Ni-Ti เกิดเป็นมาร์เทนไซท์ bct และในเหล็กกล้าแมงกานีสที่มี Mn มากกว่า 15% เกิดเป็นมาร์เทนไซท์ hcp



รูปที่ 2.11 โครงสร้างจุลภาคของมาร์เทนไซท์

## 2.2 คุณสมบัติและชนิดของพลาสติกที่ใช้ในการอัด

พลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1. เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosettings)

พลาสติกชนิดนี้จะมีรูปทรงที่ถาวรเมื่อผ่านกรรมวิธีทางความร้อน ความดันหรือตัวเร่งปฏิกิริยา การขึ้นรูปทำได้ยาก และไม่สามารถหลอมเหลวนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้ยังมีความคงทนสูง รวมทั้งการใช้งานยังอยู่ในวงแคบ ทำให้ในปัจจุบันมีการใช้งานในอุตสาหกรรมเพียงไม่กี่ประเภท พลาสติกประเภทนี้ได้แก่ เมลามีน ฟีนอลิค ยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ โพลีเอสเตอร์ที่ไม่อิ่มตัว เป็นต้น โดยส่วนใหญ่จะใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องครัวต่างๆ เช่น ถ้วยชาม หูหม้อ กระดุม ชิ้นส่วนปลั๊กไฟ พลาสติกหล่อ เช่น ชิ้นส่วนในเครื่องบิน ที่กาดผม เป็นต้น เทอร์โมเซตติ้งมีหลายชนิดด้วยกันแต่ที่สำคัญและใช้กันอยู่ทั่วไปมีดังนี้คือ อะมิโน (Amino) ฟีนอลิค (Phenolic) โพลีเอสเตอร์ (Unsaturated Polyester Resin) ซิลิโคน (Silicone) ยูรีเทน (Urethane) หรือโพลียูรีเทน (Polyurethane)

2. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics)

เทอร์โมพลาสติกเป็นพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก หลังจากนำไปหล่อทำผลิตภัณฑ์แล้วเปรียบเสมือนน้ำแข็งเมื่อทำให้เย็นน้ำจะแข็งตัว เมื่อถูกความร้อนก็จะละลายและเมื่อทำให้เย็นก็จะกลับมาแข็งตัวอีกครั้ง และจะกลับไปกลับมาไม่มีที่สิ้นสุด เรียกว่า " Plastics With a Memory " พลาสติกประเภทนี้เมื่อได้รับความร้อน หรือความดันระหว่างกระบวนการขึ้นรูป จะเปลี่ยนแปลงสถานะทางกายภาพกล่าวคือ เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนนิ่มและเมื่อเย็นตัวลงจะแข็งตัว โดยที่โครงสร้างทางเคมีจะไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้พลาสติกประเภทนี้มีคุณสมบัติที่สามารถนำกลับสู่ขบวนการซ้ำๆได้ นอกจากนี้ยังสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ต้นทุนการผลิตต่ำและมีหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ปัจจุบันมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ของเด็กเล่น ดอกไม้ประดิษฐ์ ชิ้นส่วนรถยนต์ และผลิตภัณฑ์อิเล็คทรอนิคส์ พลาสติกประเภทนี้ที่สำคัญ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีเอทีลีน (PE) โพลีไวนีลคลอไรด์ (PVC) โพลีโพรพิลีน (PP) โพลิสไตรีน (PS) โพลีเอทีลีนฟาทาเล็ต (PET) เป็นต้น ชนิดของเทอร์โมพลาสติกที่สำคัญและใช้งานอยู่โดยทั่วไปได้แก่ อะซีทัล (Acetels) อะคริริก (Acrylic) ฟลูออโรคาร์บอน (Flurocarbons) โพลิเอมีด (Polyamide) หรือไนลอน (Nylon) โพลิโอเลฟิน (Polyolefin) โพลิเอทิลีน (Polyethylene) โพลีสไตรีน (Polystyene) เอบีเอส (ABS) ไวนิล (Vinyl) เซลลูซิกส์ (Cullusics) โพลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) ไอโอโนเมอร์ (Lonomer) โพลิไอมีด (Polyamide) โพลิซัลโฟลน์ (Polysolphone) เอทิลีนไวนิลอะซีเทต (EVA) โพลีเอสเทอร์ (Polyester)

ในโครงงานฉบับนี้ใช้พลาสติกชนิด เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosettings) คือ ฟีนอลิค (Phenolic) พลาสติกชนิดนี้รู้จักกันดีในชื่อ เบคเคอไลท์ (Bakelite) ซึ่งมีทั้งชนิด เม็ด และ ผง คุณสมบัติเป็นพลาสติกที่มีน้ำหนักปานกลาง มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.25 - 1.55 มีความแข็งที่สุดชนิดหนึ่ง รับแรงดึงได้พอสมควร แต่รับแรงอัดได้ดีมาก รับแรงบิดงอได้น้อย คุณสมบัติทางไฟฟ้าอยู่ในขั้นดีทั้งไฟฟ้าความถี่สูงและต่ำ และทนความร้อนในสภาวะปกติประมาณ 71-82 องศาเซลเซียส หากผสมวัตถุทนความร้อนบาง ชนิดจะทนได้ถึง 200 องศาเซลเซียส ในสภาพที่อุณหภูมิต่ำหรือเย็น จะใช้ได้ดี และเป็นตัวนำความร้อนที่เลว ติดไฟได้ช้าและดับเอง คุณสมบัติทางเคมีพอๆกับพลาสติกชนิดอื่นๆ คือทนกรดและด่างชนิดอ่อนได้ ไม่ทนกรดอ็อกซิไดซิ่งและด่างแก่ ทนสารเคมีอื่นๆ เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ ไขมัน เป็นต้น ปัจจุบันผลิตออกมาหลายสี คือ สีดำ สีน้ำตาลเข้ม สีฟ้า สีเขียว และ ใส

## 2.3 การเตรียมการก่อนการอัดยึดชิ้นงานด้วยพลาสติก

การเตรียมการก่อนการอัดยึดชิ้นงานด้วยพลาสติกนั้น กำหนดปริมาณพลาสติก ให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนอัด ความดันที่ใช้ในการอัดพลาสติก ล้วนแต่มีผลต่อชิ้นงานสำเร็จทั้งสิ้น

### 2.3.1 การกำหนดปริมาณพลาสติกต่อการทำงาน 1 ครั้ง

ในการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้นจะต้องกำหนดพลาสติกที่จะใช้ให้พอเหมาะ ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดี และไม่ต้องทำงานเพิ่มเติมมาก ถ้าใช้พลาสติกน้อยเกินไปจะทำให้ชิ้นงานไม่เต็มแบบหรือมีส่วนเปราะอยู่ ถ้าใช้พลาสติกมากเกินไปจะทำให้ใช้แรงในการอัดมากและจะไม่ได้ขนาดของชิ้นงานตามที่ต้องการ ซึ่งวิธีการกำหนดปริมาณพลาสติกมีอยู่ 2 วิธี คือ การกำหนดโดยปริมาตร และการกำหนดโดยน้ำหนัก จะเลือกใช้วิธีไหนนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของพลาสติกที่จะนำมาผลิต

1. การกำหนดโดยปริมาตร

การกำหนดโดยปริมาตรนั้นเป็นวิธีที่ใช้กันมากเพราะเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดโดยใช้กระบอกตวง ที่สำคัญก็คือบริษัทผู้ผลิตจะต้องประกันความหนาแน่นของฝุ่น การกำหนดโดยปริมาตรนั้นใช้ได้จำกัดเพราะระยะเวลาของการเติมลงในแม่แบบจะต้องสั้น มิฉะนั้นพลาสติกที่สัมผัสกับแม่แบบร้อนจะแข็งตัวก่อนโดยส่วนที่อยู่ตรงกลางยังไม่ร้อน

2. การกำหนดโดยน้ำหนัก

การกำหนดโดยน้ำหนักแน่นอนกว่าการกำหนดโดยปริมาตร แต่มีกรรมวิธีมากกว่าเหมาะกับพลาสติกที่มีสารเสริมเป็นเส้นหรือชิ้นที่ไม่สามารถไหลเลื่อยได้ และไม่สามารถกำหนดโดยปริมาตรได้ การกำหนดโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนัก ผู้ผลิตสารพลาสติกจะต้องควบคุมให้มีความหนาแน่นปรากฏ เพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนของปริมาตรพลาสติกที่ใช้งานแต่ละครั้ง

### 2.3.2 การให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนอัด

ระยะเวลาการทำงานต่อวัฏจักรของการอัดขึ้นรูปพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของผนังชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เทอร์โมเซตติ้ง เป็นตัวนำความร้อนที่เลวและในการขึ้นรูปจะต้องให้ทีอุณหภูมิถึงจุดที่แข็งตัว ดังนั้นถ้าเติมผงพลาสติกลงในแม่แบบโดยตรงจะใช้เวลานานจึงร้อนถึงอุณหภูมิทำงานได้ เพื่อให้ระยะเวลาในการทำงานต่อวัฏจักรสั้นเข้า จึงควรมีการให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนนำเข้าแม่แบบ

วิธีให้ความร้อนแก่พลาสติกก่อนทำการอัดมีหลายวิธี

1. การให้ความร้อนด้วยเตาอบ

การให้ความร้อนด้วยเตาอบปกติจะใช้พลาสติกที่เป็นผงและชิ้นงานมีความหนาน้อยๆสามารถให้ความร้อนได้จนถึงประมาณ 100 องศาเซลเซียส ถ้าปล่อยพลาสติกไว้ในเตาอบมากเกินไป จะทำให้ขอบๆของพลาสติกเริ่มแข็งตัว มีส่วนดีที่สามารถช่วยไล่ความชื้นออกจากพลาสติก ทำให้ผิวของงานเรียบร้อยดีขึ้น

2. การให้ความร้อนโดยเตา High Frequency

วิธีให้ความร้อนโดยเตาอบนั้นเป็นกรรมวิธีเก่าแก่ ปัจจุบันนิยมใช้เตาอบ High Frequency กันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการให้ความร้อนแก่ก้อนพลาสติกก่อนอัด หลักการคือ การใช้การสั่นสะเทือนทำให้เกิดการเสียดสีกันจนเกิดความร้อน อุณหภูมิที่ได้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของก้อนพลาสติก และช่องว่างของอากาศ ข้อดีคือ จะใช้เวลาให้ความร้อนสั้นมากและร้อนทั่วถึงกัน

อุณหภูมิจะได้เท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการนำเอาก้อนพลาสติกออกจากเตาไปจนถึงเริ่มต้นอัด เวลายิ่งสั้นเท่าไรอุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น อุณหภูมิปกติจะใช้ประมาณ 110 องศาเซลเซียส ข้อสำคัญก็คือ การทำงานจะต้องมีเครื่องมือควบคุมอุณหภูมิที่สามารถตั้งอุณหภูมิตามความต้องการได้

### 2.3.3 ความสำคัญของความดันที่ใช้ในการอัดพลาสติก

ความดันในการอัดพลาสติก นอกจากจะขึ้นอยู่กับการให้ความร้อนก่อนการอัดแล้วยังขึ้นอยู่กับความสูง ความหนา รูปทรง ของชิ้นงาน และความเรียบของผิวแม่แบบนั้น คือ ความสูงของชิ้นงานยิ่งมากจะต้องใช้ความอัดสูง

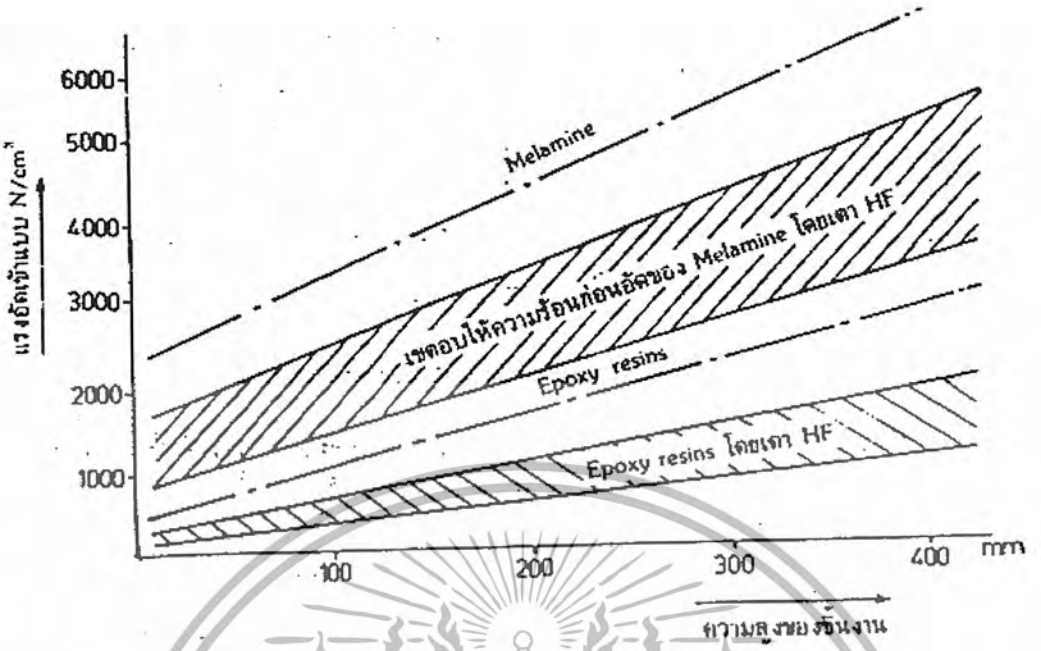
ความหนาของชิ้นงานยิ่งมาก ยิ่งมีผลทำให้เกิดความฝืดในการไหลเข้าแทนที่ช่องว่างในแม่แบบ ซึ่งต้องใช้ความดันสูงขึ้น

รูปทรงก็มีผลทำให้ความดันเปลี่ยนแปลงคือ ถ้ารูปทรงของภาชนะที่เป็นเหลี่ยมหรือกลม จะทำให้การไหลเข้าแทนที่ช่องว่างในแม่แบบได้ไม่ดีก็จะต้องใช้ความดันสูงขึ้น

ความเรียบของผิวแม่แบบก็มีผลต่อความดันในการอัด ถ้าผิวของแม่แบบขรุขระต้องใช้ความดันสูงขึ้น

ค่าความดันและอุณหภูมิในการใช้งานที่เหมะสมนั้น นอกจากจะได้จากตารางข้อมูลและคำแนะนำจากบริษัทผู้ผลิตแล้ว ยังหาได้จากการทดลองอัดก่อนการผลิต ซึ่งจำเป็นต้องกระทำอยู่แล้วในการผลิตทั่วๆไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันอัดพลาสติกกับความสูงของชิ้นงาน

## 2.4 การควบคุมอุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมินี้หมายถึงการควบคุมให้ของเหลวหรืออากาศ ซึ่งอยู่ในภาชนะนั้นให้มีอุณหภูมิคงที่ๆทำให้ค่าหนึ่ง ไม่ว่าสภาวะภายนอกของภาชนะที่ใส่สิ่งที่ต้องการให้ควบคุมอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตาม เทคนิคหรือวิธีการควบคุมอุณหภูมิที่ทำกันในอุตสาหกรรมไม่ว่าจะเป็นห้องอบความร้อนหรือถังใส่ของเหลว สามารถแบ่งได้กว้างๆ 2 วิธี คือ การควบคุมแบบปิด-เปิด และการควบคุมสม่ำเสมอแบบเป็นสัดส่วน ซึ่งทั้ง 2 วิธีที่อาศัยการป้อนกลับของสัญญาณมาควบคุม แต่วิธีการของแต่ละแบบนั้นจะแตกต่างกันออกไปตามความแม่นยำของอุณหภูมิที่ควบคุม

1. การควบคุมแบบปิด-เปิด หมายถึง การควบคุมให้อุณหภูมิที่จะควบคุมอยู่ใน “ช่วงใดช่วงหนึ่ง” เช่น เมื่ออุณหภูมิขึ้นถึงค่าสูงสุดที่ตั้งเอาไว้ เครื่องทำความร้อนก็จะหยุดทำงาน ทำให้อุณหภูมิของๆเหลวหรืออากาศที่จะควบคุมมีอุณหภูมิลดลงและเมื่ออุณหภูมิต่ำลงถึงอุณหภูมิต่ำสุดเครื่องก็จะทำงานอีกหน การควบคุมแบบนี้มักจะมีราคาถูกกว่า แบบการควบคุมสม่ำเสมออย่างเป็นสัดส่วน แต่ก็มีข้อเสีย คือ ความคาดเคลื่อนของอุณหภูมิค่อนข้างสูง การควบคุมแบบนี้ส่วนมากมักจะใช้ชิ้นส่วนทางกลเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่บางครั้งก็มีพวกอิเลคทรอนิคส์เข้ามาอยู่ด้วยเหมือนกัน

2. การควบคุมสม่ำเสมอแบบเป็นสัดส่วน หมายถึง การควบคุมให้เครื่องทำงานแปรผันไปตามอุณหภูมิของๆเหลวหรืออากาศที่จะควบคุมอย่างสม่ำเสมอ เช่น ถ้าอุณหภูมิของห้องควบคุมความร้อนห้องหนึ่งลดลงจากที่ต้องการเรื่อยๆตัวทำความร้อนจะร้อนขึ้นเรื่อยๆเหมือนกัน จนทำให้อุณหภูมิห้องสูงขึ้นจนถึงที่ตั้งเอาไว้ใหม่ และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ต่อไป การควบคุมโดยวิธีนี้สามารถทำให้อุณหภูมิที่จะควบคุมใกล้เคียงกับที่ต้องการได้มากกว่าแบบปิด-เปิด แต่ราคาก็แพงกว่า และบางครั้งก็ต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของระบบด้วยเหมือนกัน วิธีนี้โดยมากมักจะมีพวกไฟฟ้าหรืออิเลคทรอนิคส์เข้ามาเกี่ยวข้องอยู่เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1 เทคนิคการควบคุมอุณหภูมิที่ร้อน

วิธีการควบคุมอุณหภูมิที่ร้อนนั้น สามารถทำได้หลายวิธีมากมายและทุกวิธีก็อาศัยหลักการป้อนกลับจากตัววัดอุณหภูมิมาควบคุมตัวทำความร้อนอีกทีหนึ่ง

2.4.1.1 การควบคุมอุณหภูมิโดยใช้สายตา การควบคุมแบบนี้บางครั้งก็เรียกว่า man – machine control ทั้งนี้เพราะจะใช้สายตาคนคอยมองดูว่าอุณหภูมิขึ้นหรือลงถึงไหน ถ้าอุณหภูมิสูงไปบุคคลผู้นั้นก็จะปิดสวิทช์ (วงจรปิด) ไม่ให้ไฟเข้าไปยังตัวทำความร้อน สำหรับในงานอุตสาหกรรมแล้วการควบคุมอุณหภูมิแบบนี้จะไม่มีใครเขาทำกัน เพราะเสียทั้งเวลาและเงินเพื่อให้มาคอยดูระดับอุณหภูมิ

2.4.1.2 การควบคุมอุณหภูมิแบบปิด – เปิดอัตโนมัติ แบบนี้จะต่างกับแบบแรกตรงที่จะไม่มีคนเข้ามาเกี่ยวข้องกับตัวสวิทช์เลย วิธีการที่จะมาปิดสวิทช์เมื่ออุณหภูมิสูงเกินไป หรือเปิดสวิทช์เมื่ออุณหภูมิต่ำเกินไปนั้นทำได้มากมายหลายวิธี แล้วแต่ว่าวิธีไหนจะเหมาะสมกว่ากันดังต่อไปนี้

1. เทอร์โมมิเตอร์ สำหรับแบบนี้นั้น จะใช้เทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งมีลักษณะคล้ายๆเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิธรรมดา จะแตกต่างกันตรงที่จะมีลวดแหย่อยู่ระหว่างปรอท ลวดทั้งสองเส้นนี้จะต่อไปยังรีเลย์ซึ่งจะทำหน้าที่ปิดเปิดสวิทช์ของตัวทำความร้อนอีกที เมื่ออุณหภูมิของของเหลวหรืออากาศต่ำกว่าปลายลวดด้านบนที่อยู่เข้าไปในปรอท ไฟก็จะเดินไม่ครบวงจรทำให้รีเลย์ไม่ทำงานสวิทช์ก็จะเปิด (วงจรปิด) และตัวทำความร้อนก็จะทำงานไปเรื่อยๆ แต่พออุณหภูมิสูงขึ้นปรอทก็จะขยายตัวขึ้นจนกระทั่งปรอทในท่อเล็กไปสัมผัสกับลวดเส้นบน ก็จะทำให้ไฟเดินครบวงจร รีเลย์ก็จะปิดสวิทช์ (วงจรเปิด) ตัวทำความร้อน

2. เทอร์โมมิเตอร์และทุ่นแม่เหล็ก หลักการทำงานของแบบนี้ต่างจากแบบที่แล้วเพียงเล็กน้อยตรงที่มีทุ่นหรือลูกลอยซึ่งเป็นแม่เหล็กลอยอยู่บนปรอท เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตัวลูกลอยก็จะลอยขึ้นตามอุณหภูมิ เมื่อลอยสูงขึ้นมาถึงระดับสวิทช์ ตัวแม่เหล็กก็จะดูดสวิทช์รีเลย์ให้ปิด (วงจรเปิด) ทำให้ตัวทำความร้อนหยุดทำงาน และเมื่ออุณหภูมิลดลงลูกลอยก็จะต่ำลงตามทำให้วงจรเปิดใหม่ โดยปกติแล้วที่ตัวสวิทช์รีเลย์นี้มักจะมีสกรูหรือปุ่มคอยปรับตั้งอุณหภูมิ ดังนั้นแบบนี้จึงดีกว่าแบบแรกก็ตรงที่เปลี่ยนตั้งอุณหภูมิได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนปรอทตัวใหม่

3. เทอร์โมสตัท แบบนี้อาศัยการยืดตัวไม่เท่ากันของโลหะ 2 ชนิด (เรียกว่า bimetal) ซึ่งติดกันอยู่จากหลักที่ว่า โลหะจะขยายตัวขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และจะขยายตัวได้มากเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะแต่ละชนิด ดังนั้นถ้าเอาโลหะ 2 ชนิดที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวไม่เท่ากันมาประกอบติดกันและเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นการยืดของโลหะ 2 ชนิดจะไม่เท่ากัน ทำให้แผ่นโลหะ 2 อันที่ประกอบกันนี้โค้งงอ ถ้าแผ่นโลหะ 2 ชนิดนี้โค้งงอจนกระทั่งหน้าสัมผัส (contact) ประกบติดกันก็จะทำให้ไฟเดินครบทั้งวงจร ซึ่งทำให้ตัวรีเลย์ปิด ( วงจรตัวทำความร้อนเปิด ) นี้จะตั้งอุณหภูมิได้โดยการตั้งสกรูของหน้าสัมผัสอีกด้านหนึ่ง

สำหรับโลหะ 2 ชนิดนี้ ชนิดหนึ่งจะเรียกว่าอินวาร์ (invar) ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างนิเกิ้ลและเหล็ก (นิเกิ้ลผสม 36%) โลหะชนิดนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำมาก ส่วนอีกชนิกหนึ่งนั้นจะเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดง โครเมียม และเหล็กซึ่งมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสูง การที่แผ่นโลหะ 2 ชนิดนี้จะโค้งได้เร็วเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความยาวที่เอามาประกบกันและสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะผสมทั้ง 2 ชนิด

ในบางครั้งเทอร์โมสตัทก็ถูกนำมาใช้กับการคุมอุณหภูมิต่ำ เพราะเมื่ออุณหภูมิต่ำลงตัวแผ่นโลหะ 2 ชนิดก็จะโค้งในทิศทางตรงกันข้ามเมื่อทำให้ร้อน ฉะนั้นถ้าเอาหน้าสัมผัสมาไว้ด้านตรงกันข้ามของรูป 6 ก็จะได้การปิด - เปิดคอมเพรสเซอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมแบบนี้บางครั้งอาจเกิดปัญหาการปิด - เปิดเร็วเกินไป และถ้าเกิดปัญหานี้ก็อาจจะใช้ด้านใดด้านหนึ่งของหน้าสัมผัสเป็นแม่เหล็ก เพื่อหน่วงการ ปิด - เปิดให้ช้าลงได้

4. เทอร์โมสตัทแบบขด แบบนี้จะต่างกันกับแบบแรกตรงที่ใช้โลหะที่มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวชนิดเดียว แทนที่จะใช้โลหะผสม 2 แผ่นประกบกัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโลหะผสมก็จะยืดออก แต่เนื่องจากมันขดอยู่จึงทำให้ปลายยืดออกตามแนวเส้นรอบวง ที่ปลายโลหะนี้จะมีสวิทช์ปรอทติดอยู่ เมื่อขดนี้ยาวมากขึ้นตัวสวิทช์ปรอทก็จะเอียงจนกระทั่งปรอทไปเชื่อมต่อขั้วทั้งสอง ทำให้ไฟฟ้าเดินครบวงจร รีเลย์ก็จะทำงานทำให้ตัวความร้อนหยุดทำงาน

ตัวเทอร์โมสตัทแบบขดนี้ก็มีใช้กับการควบคุมความเย็นเหมือนกัน แต่ทำงานกลับกันเพราะโลหะจะหดตัวเมื่ออุณหภูมิเย็นลง

5. เทอร์โมสตัทแบบแผ่น (Snap Action Thermostats) สำหรับแบบนี้จะมีลักษณะแตกต่างกันจาก 2 แบบที่แล้ว คือ แทนที่จะเป็นเส้นหรือเป็นแท่งก็มีลักษณะเป็นแผ่นกลม แผ่นนี้จะสอดอยู่ระหว่างร่อง และตรงกลางแผ่นก็มีหน้าสัมผัส ตัวแผ่นเทอร์โมสตัทจะเป็นโลหะผสม 2 แบบ เหมือนเทอร์โมสตัทแบบแรกเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแผ่นโลหะก็จะยืดตัวออกตามแนวรัศมี ทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่เนื่องจากตามขอบของโลหะนี้ถูกกรอบกันเอาไว้จึงทำให้แผ่นโลหะนี้โค้งงอขึ้น ตัวหน้าสัมผัสก็จะอ้าออก และเมื่ออุณหภูมิลดลงหน้าสัมผัสก็จะประกบกันใหม่ เทอร์โมสตัทแบบแผ่นนี้สามารถใช้ได้กับการควบคุมอุณหภูมิเย็นได้ โดยการกลับแผ่นโลหะ 2 ชนิด ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเย็นลง หน้าสัมผัสก็จะเปิดออก ในกรณีที่ต้องการจะตั้งอุณหภูมิสามารถทำได้โดยใช้หน้าสัมผัสตัวเป็นสกรูแทน สกรูนี้จะหมุนเลื่อนขึ้นลงได้

6. เทอร์โมสตัทแบบคูรี่ (Curie Point Thermostats) จากปรากฏการที่ว่าโลหะที่แม่เหล็กสามารถดูดติด มีอำนาจการถูกแม่เหล็กดูดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และมีอำนาจการถูกแม่เหล็กดูดเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง จึงสามารถนำมาใช้ในการควบคุม อุณหภูมิได้ ปรากฏการนี้จะรู้จักดีในชื่อ Curie Point โดยมากแล้วโลหะที่นำมาให้เป็นแม่เหล็กดูดมักทำมาจากเหล็กหล่อ และนำมาควบคุมอุณหภูมิได้เมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งเอาไว้อำนาจแม่เหล็กที่กระทำกับเหล็กหล่อก็จะมาก และดูดให้หน้าสัมผัสประกบติดกัน แต่พออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดูดจากอำนาจแม่เหล็กก็จะลดลง สปริงก็จะดึงกับทำให้หน้าสัมผัสแยกออกจากกัน สำหรับเทอร์โมสตัทแบบคูรี่นี้ก็อาจนำมาใช้กับการควบคุมอุณหภูมิที่เย็นได้เช่นกัน

### 2.4.2 เทคนิคการนำอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ หรือเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) หรือ RTD (Resistance Temperature Delector) มาใช้ควบคู่ไปกับระบบควบคุม

เทคนิคการนำอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ หรือเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) หรือ RTD (Resistance Temperature Delector) มาใช้ควบคู่ไปกับระบบควบคุม ซึ่งมักเป็นวงจรอิเล็คทรอนิคส์ รีเลย์ หรืออื่นๆ แล้วแต่ว่าเป็นการควบคุมประเภทไหน การควบคุมโดยอาศัยอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและอิเลคทรอนิคส์นั้นโดยมากแล้ว จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ตัวหรือระบบควบคุม และตัววัดอุณหภูมิ ในกรณีนี้ตัววัดอุณหภูมิอาจจะให้สัญญาณออกมาอยู่ในรูปความต่างศักย์ หรือไม่ก็ในรูปการเปลี่ยนแปลงความต้านทานบ้าง ทั้งการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์และความต้านทาน จะมีผลทำให้อินพุทที่ป้อนเข้าตัวควบคุมเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของมัน และเอาท์พุทที่ได้จากตัวควบคุมก็จะถูกนำไปใช้ควบคุมตัวนำความร้อนอีกทีหนึ่ง ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



55464

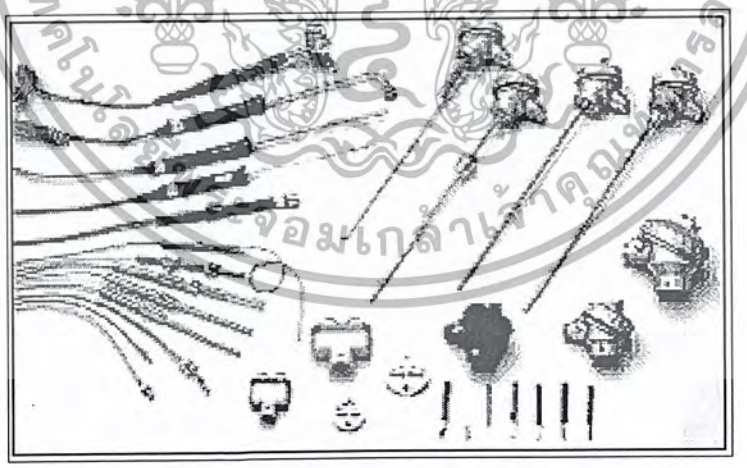
ระบบควบคุมนั้น โดยมากจะประกอบด้วยอุปกรณ์ทางอิเลคทรอนิคส์ เช่น รีเลย์ ทรานซิสเตอร์ ไอซี เป็นต้น อุปกรณ์เหลานี้สามารถถูกนำมาใช้ได้ทั้งระบบเปิดปิด และระบบควบคุมสม่ำเสมอ แล้วแต่ว่าวงจรจะเป็นอย่างไร

ตัววัดอุณหภูมิที่นิยมใช้ควบคู่ไปกับตัวควบคุมมีอยู่ด้วยกัน 3 อย่าง คือ

1 ). เทอร์โมคัปเปิล การทำงานของตัววัดอุณหภูมิชนิดนี้อาศัยหลักการที่ว่า ถ้านำวัตถุ 2 ชนิดมาโยงให้ปลายต่อกัน และถ้าอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองต่างกันก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหล ดังนั้นถ้าสามารถวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลได้ก็สามารถทราบอุณหภูมิได้

2 ). RTD (Resistance Temperature Delector) ตัววัดอุณหภูมิประเภทนี้มักทำจากโลหะพวกทองแดง นิเกิ้ล และทองคำขาว โลหะพวกนี้จะให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิค่อนข้างมาก โดยเฉพาะทองคำขาว ซึ่งปัจจุบันใช้เป็นตัววัดอุณหภูมิกันมากเพราะความต้านทานที่เปลี่ยนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับอุณหภูมิ และให้ค่าความเปลี่ยนแปลงของความต้านทานสูงกว่าโลหะที่เหลือ

3 ). เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) ตัววัดอุณหภูมิประเภทนี้ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งให้ค่าความต้านทานลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์นี้ (คือค่า sensityvity) มีค่าสูงมาก แต่ความต้านทานที่เปลี่ยนนี้ไม่แปรผันเชิงเส้นกับอุณหภูมิ จึงนิยมใช้ในการวัดและควบคุมในช่วงอุณหภูมิที่แคบ ถ้าต้องการใช้เทอร์มิสเตอร์ในการวัดอุณหภูมิจำเป็นต้องรู้ช่วงอุณหภูมิที่วัดอย่างประมาณก่อนแล้วค่อยมาเลือกเทอร์มิสเตอร์มาใช้ให้เหมาะกับช่วงอุณหภูมินั้น โดยมากแล้วถ้าต้องการใช้วัดช่วงอุณหภูมิอย่างเดียวก็มักใช้ RTD มากกว่า เทอร์มิสเตอร์ เพราะ RTD ให้ความถูกต้องได้สูงกว่า แต่สำหรับการควบคุมอุณหภูมิโดยอาศัยการป้อนกลับแล้ว สามารถนำเทอร์มิสเตอร์มาใช้ได้ เพราะอุณหภูมิที่ทำงานจะไม่แตกต่างไปจากที่ต้องการมาก และยังมีราคาถูก



**รูปที่ 2.13 เทอร์โมคัปเปิลและ RTD**

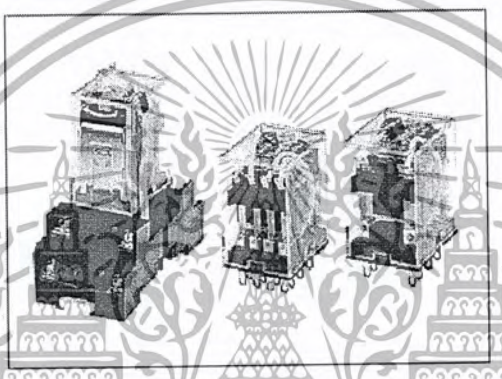
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ชุดควบคุม

ในโครงงาน ได้มีการนำเอาอุปกรณ์ทางไฟฟ้าต่างๆมาใช้ เพื่อสามารถควบคุมอุณหภูมิที่จะใช้ในการหลอมผงเบคเคอไลท์ (Bakelite)

### 2.5.1 รีเลย์ (Relay)

ในวงจรควบคุม ไม่สามารถใช้สวิทช์เพียงอย่างเดียวในการควบคุมจำเป็นต้องนำรีเลย์เข้ามาช่วย เพราะภายในตัวของรีเลย์จะมีหน้าสัมผัสจำนวนหลายชุดอยู่ภายใน จึงสามารถใช้ควบคุมงานที่ยุ่งยากได้ รีเลย์เป็นสวิทช์ที่ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรควบคุม



**รูปที่ 2.14 รีเลย์**

โครงสร้างรีเลย์ประกอบด้วยโครงเหล็ก 2 ชุด ชุดหนึ่งถูกยึดติดอยู่กับที่โดยจะมีขดลวดพันอยู่รอบๆเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กในกรณีที่มีกระแสไฟไหลผ่านขดลวดและจะทำให้เกิดแรงดูดได้ สำหรับแกนเหล็กอีกชุดหนึ่งจะเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ได้ โดยแกนเหล็กชุดนี้จะมีหน้าสัมผัสยึดติดอยู่

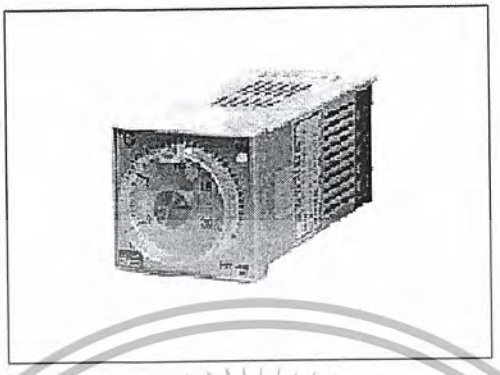
หลักการทำงาน ในสภาวะปกติแกนเหล็กทั้งสองชุดจะถูกดันออกมาจากกันด้วยแรงสปริง ชุดของหน้าสัมผัสในสภาวะนี้จะเรียกว่า ชุดหน้าสัมผัสปกติเปิด ในกรณีที่ชุดหน้าสัมผัสแยกออกจากกัน และหน้าสัมผัสปกติปิดในกรณีที่หน้าสัมผัสต่อถึงกัน เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขดลวดที่พันอยู่รอบๆแกนเหล็ก จะทำให้แกนเหล็กกลายเป็นแม่เหล็กดูด แกนเหล็กชุดเคลื่อนที่ ทำให้ชุดของหน้าสัมผัสเปลี่ยนการทำงานทันที คือ ชุดหน้าสัมผัสที่ติดกันจะแยกออกจากกัน และชุดหน้าสัมผัสที่แยกจากกันก็จะต่อถึงกัน หรืออาจจะสรุปง่ายๆได้ว่า ชุดหน้าสัมผัสจะเปลี่ยนเป็นจากปิดจะเปลี่ยนเป็นเปิด และหากไม่มีกระแสไหลเข้าขดลวด ชุดหน้าสัมผัสก็จะคืนกลับสู่ตำแหน่งเดิม

### 2.5.2 รีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay)

รีเลย์ตั้งเวลา เป็นสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยการหน่วงเวลาด้วยระบบอิเล็คทรอนิคส์ หรือระบบมอเตอร์ไฟฟ้า รีเลย์ตั้งเวลานี้มีหลายแบบ แบบที่นิยมใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายมีอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน คือ แบบหน่วงเวลาตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีสัญญาณ (On Delay) และแบบหน่วงเวลาตอนตัดสัญญาณ (Off Delay) ซึ่งในโครงงานนี้ใช้แบบหน่วงเวลาตอนมีสัญญาณ (On Delay)



รูปที่ 2.15 รีเลย์ตั้งเวลา (Time Relay)

### 2.5.3 ฮีตเตอร์ (Heater)

ฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำความร้อนในอุตสาหกรรม ที่มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อน ดังนั้นลวดที่ใช้ผลิตฮีตเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนอุณหภูมิสูงได้ เช่น ลวด Kanthal (นิกเกิล : โครเมียม / 80 : 20) จะทนอุณหภูมิได้ถึง 1250 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบในการผลิตฮีตเตอร์มีดังนี้

ฉนวนแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) มีค่านำไฟฟ้าต่ำแต่นำความร้อนได้มาก ทำหน้าที่กั้นกลางระหว่างลวดฮีตเตอร์กับปลอกโลหะ เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสรั่ว (Leak Current) จากลวดฮีตเตอร์ออกไปยังผิวโลหะ จุดสำคัญคือห้ามมีความชื้นในฉนวนเด็ดขาดเพราะจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น หากมีความชื้นแก้ไขได้โดยการอบในเตาอบฉนวนความร้อน (Insulation Tester) เป็นเครื่องทดสอบความเป็นฉนวนของฮีตเตอร์เพื่อให้แน่ใจว่าการใช้งานจริงจะไม่มี กระแสรั่วจากลวดฮีตเตอร์สู่ผิวโลหะ ซึ่งอาจเป็นอันตรายแก่ผู้ใช้ได้

ฮีตเตอร์แบ่งตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

1. ฮีตเตอร์แท่ง ใช้ให้ความร้อนแก่วัสดุที่เป็นของแข็ง เช่น เหล็ก และโลหะต่างๆ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานบรรจุหีบห่อ งานขึ้นรูปพลาสติก

2. ฮีตเตอร์ครีบและฮีตเตอร์ท่อกลม ใช้ให้ความร้อนกับอากาศ เช่น ในเตาอบ ห้องอบแห้ง

3. ฮีตเตอร์จุ่มหรือฮีตเตอร์ต้มน้ำ ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวทุกชนิด ตัวอย่างการใช้งาน เช่น งานต้มน้ำ ต้มน้ำมัน งานผสมสาร

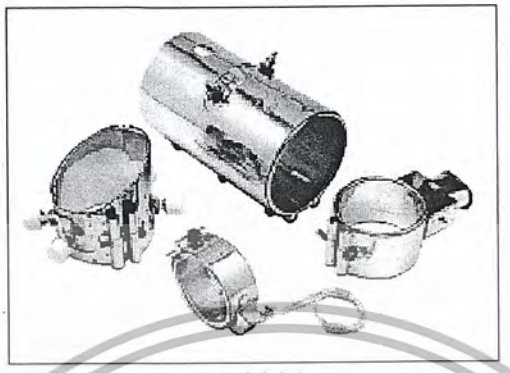
4. บอบบิ้นฮีตเตอร์ ใช้ให้ความร้อนของเหลวเหมือนฮีตเตอร์จุ่ม

5. ฮีตเตอร์อินฟาเรด ใช้ให้ความร้อนแก่วัสดุโดยไม่ต้องสัมผัสโดยตรง ไม่เหมาะกับวัตถุที่มีลักษณะมันวาว เนื่องจากวัสดุมันวาวจะมีคุณสมบัติสะท้อนแสงทำให้ไม่สามารถดูดซับรังสีอินฟาเรต ได้อย่างเต็มที่ ใช้ติดตั้งในเตาอบ หรือเหนือคอนเวร์เยอร์ได้

6. ฮีตเตอร์รัดท่อ ใช้ให้ความร้อนกับของเหลวที่อยู่ในท่อหรือถังรูปทรงกระบอกโดยรัดจากด้านนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ฮีตเตอร์แผ่น ใช้ให้ความร้อนโดยแนบกับวัตถุโดยตรงสามารถออกแบบให้เป็นรูปทรงใดๆก็ได้ ในโครงงานนี้ใช้ฮีตเตอร์แบบรัดท่อ



รูปที่ 2.16 ฮีตเตอร์แบบรัดท่อ

### 2.5.4 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัปเปิล คือ โลหะ 2 ชนิดต่างกันที่นำมาเชื่อมปลายเข้าด้วยกันที่ด้านหนึ่งซึ่งเป็นด้านที่ใช้วัดอุณหภูมิส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับอุปกรณ์ใช้งาน เช่น เครื่องควบคุมอุณหภูมิ เครื่องบันทึกอุณหภูมิ เป็นต้น เทอร์โมคัปเปิล ถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆตามการจับคู่ของโลหะที่แตกต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติในการใช้หลากหลาย ตามความเหมาะสมของงาน ประเภทของเทอร์โมคัปเปิล ตามมาตรฐาน ANSI ได้แบ่งเทอร์โมคัปเปิลเป็น 7 ประเภท ตามวัสดุของสายเทอร์โมคัปเปิล

ตารางที่ 2.1 ประเภทของเทอร์โมคัปเปิลตามมาตรฐาน ANSI

| ประเภท | วัสดุด้านบวก | วัสดุด้านลบ | อุณหภูมิสูงสุด( ° C ) |
|---|---|---|---|
| B | platinum - 30% rhodium | platinum- 6% rhodium | 1700 |
| E | nickel - 10% rhromium | constantan | 870 |
| J | iron | constantan | 760 |
| K | nickel - 10% chromium | nickel – 5% alumium or silicon | 1260 |
| R | platinum - 13% rhodium | platinum | 1480 |
| S | platinum - 10% rhodium | platinum | 1480 |
| T | copper | constantan | 370 |

Constantan คือ โลหะผสม 45% nickel – 55% copper

อุณหภูมิสูงสุดขึ้นอยู่กับขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลด้วย อุณหภูมิสูงสุดที่แสดงในตาราง สำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลขนาดเบอร์ 8 AWG (3.25 mm.) ยกเว้นประเภท B , R และ S เป็นเบอร์ 24 (0.51 mm.) อุณหภูมิสูงสุดที่กำหนดนี้เป็นกรณีที่ตัวเทอร์โมคัปเปิลมีท่อป้องกัน หรือบรรจุอยู่ในท่อปลายปิด โดยเทอร์โมคัปเปิลมีอายุใช้งานยาวพอสมควร ในการใช้งานจริงอาจมีบางขณะที่อุณหภูมิสูงกว่ากำหนดในตารางนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

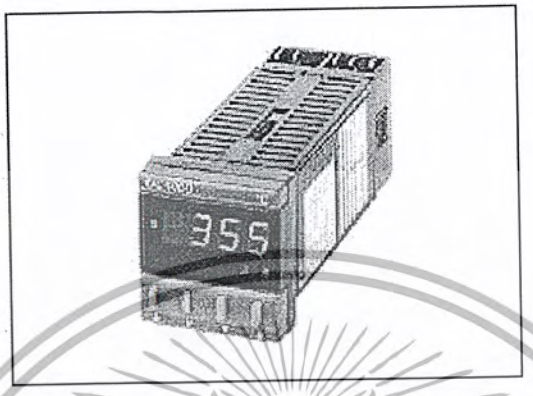
**ตารางที่ 2.2 ลักษณะสภาพของการใช้งานและข้อจำกัดของเทอร์โมคัปเปิล**

| ประเภทของเทอร์โมคัปเปิล | ลักษณะสภาพของการใช้งานและข้อจำกัด |
|---|---|
| ประเภท B | - ใช้งานต่อเนื่องในสภาพแวดล้อม oxidising หรือ inert ถึง 1760 ° C<br>- ใช้งานระยะสั้นในสุญญากาศ<br>- ไม่ควรใช้ในสภาพแวดล้อม Reducing หรือมีไอของโลหะหรืออะโลหะ เว้นแต่จะมีท่อป้องกันที่ไม่ใช่โลหะ |
| ประเภท E | - ใช้งานต่อเนื่องในสภาพแวดล้อม oxidizing หรือ inert ถึง 870 ° C<br>- ใช้งานได้ดีสำหรับอุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์ถึง -250 ° C เนื่องจากไม่มีปัญหาของการผุกร่อนจากความชื้น อย่างไรก็ตามช่วงอุณหภูมินั้นไม่มีมาตรฐานจำกัดค่าคลาดเคลื่อน สำหรับเทอร์โมคัปเปิลประเภทนี้<br>- ในสภาพแวดล้อม Reducing หรือสภาพแวดล้อมที่มีกำมะถันจะต้องมีท่อป้องกันที่เหมาะสม |
| ประเภท J | - ใช้งานต่อเนื่องในสภาพแวดล้อมoxidizing, reducing,inert หรือสภาพสุญญากาศ ถึง 760 ° C<br>- สายเทอร์โมคัปเปิลเปลือยไม่ควรใช้ในสภาพที่มีกำมะถัน และอุณหภูมิสูงกว่า 540 ° C<br>- ใช้ได้ในอุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์ถึง -200 ° C แต่มีข้อจำกัดด้านความละเอียด ถูกต้องเช่นเดียวกับประเภท E |
| ประเภท K | - ใช้งานต่อเนื่องในสภาพแวดล้อม oxidizing หรือ inert ถึง 1260 ° C<br>- ใช่กันมากที่สุดสำหรับช่วงอุณหภูมิเกิน 540 ° C<br>- ใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์ถึง -250 ° C แต่มีข้อจำกัดเช่นเดียวกับประเภท E |
| ประเภท R , S | - สภาพการใช้งานโดยทั่วไปเหมือนประเภท B แต่อุณหภูมิสูงสุดต่ำกว่าประเภท B และความละเลียดถูกต้องที่อุณหภูมิสูงๆจะสู้ประเภท B ไม่ได้ |
| ประเภท T | - ใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์ถึง -250 ° C ไม่มีปัญหาการผุกร่อนจากความชื้น และยังเป็นเทอร์โมคัปเปิลประเภทเดียวที่มีมาตรฐานจำกัดความคลาดเคลื่อนสำหรับอุณหภูมิในช่วงนี้<br>- ใช้งานต่อเนื่องในสภาพแวดล้อม oxidizing , reducing หรือ inert ถึง 370 ° C |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.5 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Temperature Controller)

ใช้ร่วมกับเทอร์โมคัปเปิลเป็นอินพุท แสดงผลเป็นแบบดิจิตอลสามารถตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิได้ ซึ่งในโครงงานนี้ใช้เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Temperature Controller) รุ่น CAL 9900



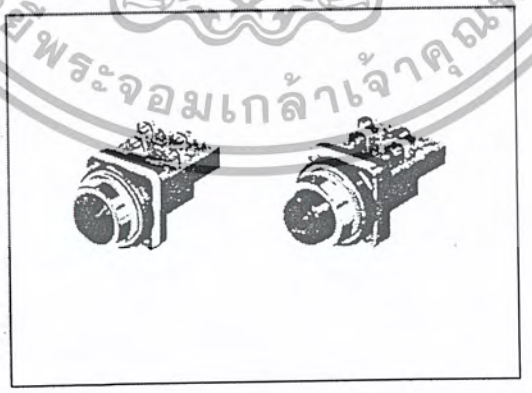

รูปที่ 2.17 เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล

### 2.5.6 สวิทช์ (Switch)

ในโครงงานได้มีการนำสวิทช์ไฟฟ้ามาควบคุมวงจรภายในตัวเครื่อง ซึ่งมี 2 ประเภทคือ สวิทช์ไฟฟ้ากดธรรมดา, สวิทช์ค้างตำแหน่ง ซึ่งเป็นสวิทช์แบบปกติเปิด (Normally Open Switch) ทั้งสองประเภท

1. สวิทช์ไฟฟ้ากดธรรมดา (Push button Switch)

สวิทช์แบบนี้ในสภาวะปกติ กระแสไฟจะไม่สามารถไหลจากด้านหนึ่งมายังอีกด้านหนึ่งได้ การใช้งานเมื่อมีแรงกดกระแสไฟจะไหลผ่านได้ เมื่อปล่อยกระแสไฟจะไหลผ่านไม่ได้เหมือนเดิม

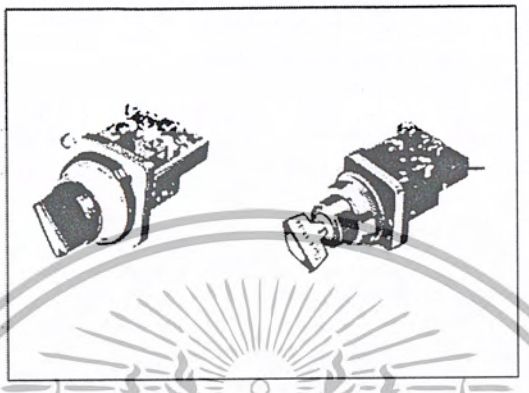


รูปที่ 2.18 สวิทช์ไฟฟ้ากดธรรมดา (Push button Switch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สวิทช์ค้างตำแหน่ง (Toggle Switch)

เมื่อกดสวิทช์กระแสไฟจะไหลผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ แล้วตัวสวิทช์จะค้างตำแหน่งอยู่ ไม่คืนตัวหรือเด้งกลับไปยังสภาวะที่ตำแหน่งที่กระแสไฟไหลผ่านไม่ได้ ถ้าจะให้คืนสภาพเดิมที่กระแสไฟไหลผ่านไม่ได้ ต้องกดซ้ำที่ตัวสวิทช์เดิมนั้น ซึ่งสวิทช์แบบนี้มีทั้งแบบ กด บิด กุญแจ โยก เป็นต้น



**รูปที่ 2.19 สวิทช์ค้างตำแหน่ง (Toggle Switch)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3
# การออกแบบและการดำเนินงาน

## 3.1 แนวคิดในการออกแบบ

เนื่องจากต้องการนำชิ้นงานไปทดสอบในห้องปฏิบัติการทางโลหวิทยา จึงออกแบบให้แบบชิ้นงานตัวอย่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ขนาด คือ 25 30 และ 35 มิลลิเมตร เพื่อสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชิ้นงานโลหะและเครื่องมือทดสอบ ชุดโมลด์จึงออกแบบให้มี 3 ขนาดสามารถถอดเปลี่ยนได้ วัสดุที่ใช้ทำโมลด์เป็นเหล็กเพลางานร้อน SKD 61 ทำการอบชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1060 องศาเซลเซียส โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 50 มิลลิเมตร เท่ากันทั้ง 3 แบบ ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในของโมลด์ที่ไว้เติม ผงเบคเคอไลท์ จะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไปตามขนาดของชิ้นงานตัวอย่าง เช่น ถ้าชิ้นงานโลหะมีขนาดเล็กควรเลือกใช้โมลด์ขนาดเล็ก หรือ ชิ้นงานโลหะมีขนาดใหญ่ ก็ควรเลือกใช้โมลด์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นตามความเหมาะสม เป็นต้น ในส่วนการเลือกใช้แม่แรงไฮโดรลิกนั้น คิดจากแรงที่ใช้อัดแบบชิ้นงานตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่สุด ได้ขนาด 6 ตัน มีเกจวัดความดันแรงในการอัดขึ้นรูปชิ้นงานตัวอย่าง การให้ความร้อนหลอมผงเบคเคอไลท์ใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ตัวทำความร้อนเลือกใช้ฮีตเตอร์แบบรัดท่อควบคุมด้วยเครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller) สามารถปรับตั้งอุณหภูมิได้ตามความต้องการ มีรีเลย์ตั้งเวลาเพื่อตั้งเวลาในการแข็งตัวของผงเบคเคอไลท์

### 3.1.1 การคำนวณหาขนาดแม่แรงไฮโดรลิก

เนื่องจากชิ้นงานตัวอย่างที่ได้ในโครงงานนี้ใช้หลักการตรึงชิ้นงานด้วยความร้อนและแรงดัน ซึ่งส่วนประกอบสำคัญได้แก่ ระบบแรงดัน ซึ่งใช้ลมหรือน้ำมันเป็นชุดต้นกำลัง

ในโครงงานนี้เลือกใช้แม่แรงไฮโดรลิคเป็นชุดต้นกำลังและนำไปประกอบติดตั้งกับเกจวัดแรงดัน

ความดันในการอัดชิ้นงาน = 214 - 295 kg/cm$^2$

จากสูตร $F = \sigma \times A$ (3.1)

ชิ้นงานมีขนาด $\varnothing$ 2.5 cm. , $\varnothing$ 3.0 cm. และ $\varnothing$ 3.5 cm.

$\sigma_{MAX}$ = 295 kg/cm$^2$, $F_{2.5}$ = 1448 kg , $F_{3.0}$ = 2085 kg และ $F_{3.5}$ = 2823 kg

แรงที่กระทำกับชิ้นงานสูงสุด = 2823 kg.

จาก

แรงที่กระทำกับชิ้นงานสูงสุด = 2823 kg.

ถ้าใช้ขนาดความเผื่อในการใช้งาน = 2

ขนาดของแม่แรงที่เลือกใช้สูงสุด = 2823 x 2

= 5646 kg.

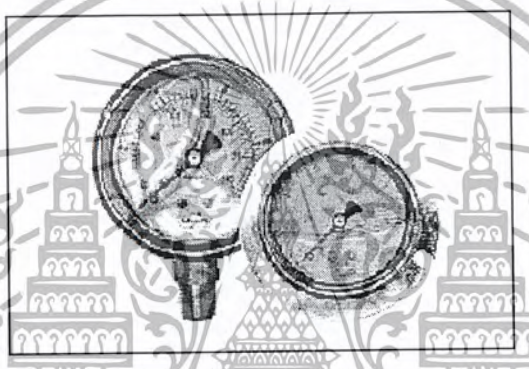
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควรเลือกใช้ขนาดของแม่แรง = 6000 kg.

= 6 Ton

### 3.1.2 การเลือกใช้เกจวัดความดันและการติดตั้งเข้ากับชุดแม่แรงไฮโดรลิก

เกจวัดความดันใช้เป็นตัวบอกค่าความดันของน้ำมันในระบบไฮโดรลิก ซึ่งทำได้ง่ายโดยการต่อท่อน้ำมันเข้าทางรูส่วนล่างของเกจ เมื่อมีแรงดันขึ้นในระบบ เข็มของเกจวัดความดันจะชี้บอกค่าได้ทันที โดยมีสเกลบอกค่าของความดัน ในการตรึงชิ้นงานด้วยแรงดันนั้น เกจวัดความดันเป็นอุปกรณ์หนึ่งที่ช่วยให้การอัดพลาสติกเข้าแบบงานเป็นไปโดยดี คือ เกจวัดความดันเป็นเครื่องวัดความดันที่เหมาะสมในการอัดผงเบคเคอไลท์ ที่ถูกให้ความร้อนแล้วอัดเข้าแบบโมลด์ตามความดันที่เหมาะสมกับผงเบคเคอไลท์



รูปที่ 3.1 เกจวัดความดันแบบมีน้ำมันด้านใน

การติดตั้งเกจวัดความดันเข้ากับแม่แรงไฮโดรลิก

1. เจาะแม่แรงที่กึ่งกลางฐานของแม่แรงไฮโดรลิก
2. ทำเกลียวที่รูเจาะของแม่แรงไฮโดรลิก
3. ทำชุดฐานขึ้นมาใหม่เพื่อยึดติดเข้ากับฐานของแม่แรง โดยชุดฐานที่ทำขึ้นมาใหม่นั้นจะมีการกัดร่องทะลุจากขอบจนถึงกึ่งกลาง เพื่อสะดวกในการติดตั้งชุดข้อต่อเข้ากับฐานของแม่แรงไฮโดรลิก
4. ติดตั้งข้อต่อเข้ากับฐานของแม่แรงไฮโดรลิก
5. ติดตั้งสายไฮโดรลิกเข้ากับชุดข้อต่อ
6. ติดตั้งเกจวัดความดันเข้ากับสายไฮโดรลิกที่ต่อมาจากแม่แรงไฮโดรลิก

### 3.1.3 การคำนวณหาขนาดของสกรูยึดติดกับเสาค้ำ

จากการเลือกใช้แม่แรงไฮโดรลิก ขนาด 6 Ton

ฉะนั้นแรงสูงสุด = 6000 kg

= 6000 x 9.81

= 58860 N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3.1 กำหนดค่าความปลอดภัย ($N_y$) = 3 (ความเค้นใช้งาน)

จากตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียวมาตรฐาน 12.9 มีความเค้นพิสูจน์ต่ำสุด 1080 $N/mm^2$

$$\sigma_{td} = \frac{1080}{3}$$

$$= 360\ N/mm^2$$

$$\sigma_{td} = \frac{F}{A_s} \qquad (3.2)$$

$$360 = \frac{58860}{A_s}$$

$$A_s = \frac{58860}{360}$$

$$= 163.5\ mm^2$$

จากตารางที่ 3.3 เกลียวเมตริกแบบมาตราฐาน M16 x 1.5 มีพื้นที่รับความเค้น ($A_s$) 167.0 $mm^2$ ควรเลือกใช้สลักเกลียวขนาด M16

**ตารางที่ 3.1 ค่าความปลอดภัยที่ใช้ในการออกแบบ**

| ชนิดของแรงกระทำ | เหล็กเหนียวและโลหะเหนียว | | เหล็กหล่อและโลหะเปราะ |
|---|---|---|---|
| | $N_y$ | $N_u$ | $N_u$ |
| แรงอยู่นิ่ง | 1.5 - 2 | 3 - 4 | 5 - 6 |
| แรงซ้ำทิศทางเดียวหรือ แรงกระแทกเล็กน้อย | 3 | 6 | 7 - 8 |
| แรงซ้ำสองทิศทางหรือ แรงกระแทกเล็กน้อย | 4 | 8 | 10 - 12 |
| แรงกระแทกอย่างหนัก | 5 - 7 | 10 - 15 | 15 - 20 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

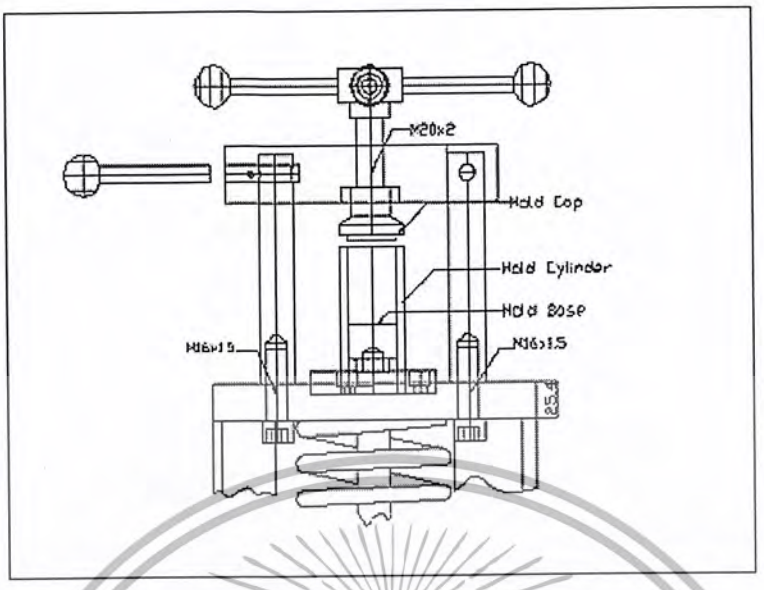
**ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกลของสลักเกลียวมาตรฐาน**

| คุณสมบัติทางกล | ขั้นคุณสมบัติ | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3.6 | 4.6 | 4.8 | 5.6 | 5.8 | 6.6 | 6.8 | 6.9 | 8.8 | 10.9 | 12.9 | 14.9 |
| ความต้านแรงดึงต่ำสุด ($N/mm^2$) | 340 | 400 | | 500 | | 600 | | | 800 | 1000 | 1200 | 1400 |
| ความต้านแรงดึงสูงสุด ($N/mm^2$) | 490 | 550 | | 700 | | 800 | | | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 |
| ความต้านแรงดึงคราก ต่ำสุด($N/mm^2$) | 200 | 240 | 320 | 300 | 400 | 360 | 480 | - | - | - | - | - |
| ความเค้นพิสูจน์ 0.2% ต่ำสุด ($N/mm^2$) | - | - | - | - | - | - | - | 540 | 640 | 900 | 1080 | 1260 |
| การยืดหลังจากขาด (%) | 25 | 25 | 14 | 20 | 10 | 16 | 8 | 12 | 12 | 9 | 8 | 7 |

**ตารางที่ 3.3 เกลียวเมตริกแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ เกลียวธรรมดา**

| สัญลักษณ์ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง x ระยะพิตช์) | ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ $d_2$ | ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคนเกลียวนอก $d_1$ | พื้นที่รับความเค้น ($A_s$) $mm^2$ |
|---|---|---|---|
| 1x0.25 | 0.838 | 0.693 | 0.456 |
| 2x0.40 | 1.740 | 1.509 | 2.070 |
| 3x0.50 | 2.675 | 2.387 | 5.030 |
| 4x0.70 | 3.545 | 3.141 | 8.780 |
| 5x0.80 | 4.480 | 4.019 | 14.200 |
| 6x1.00 | 5.350 | 4.773 | 20.100 |
| 8x1.25 | 7.183 | 6.466 | 36.600 |
| 10x1.50 | 9.026 | 8.160 | 58.000 |
| 12x1.75 | 10.863 | 9.853 | 84.300 |
| 16x2.00 | 14.701 | 13.546 | 157.000 |
| 20x2.50 | 18.376 | 16.933 | 245.000 |
| 24x3.00 | 22.051 | 20.319 | 353.000 |
| 30x3.50 | 27.727 | 25.706 | 561.000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.2 การยึดสกรูระหว่างชุดเสาค้ำกับโครงเครื่อง

### 3.1.4 การคำนวณหาขนาดสปริง

จุดประสงค์ของการออกแบบสปริง ส่วนมากจะเป็นไปในรูปของการเก็บพลังงานเอาไว้ในตัวสปริง ความเค้นที่เกิดขึ้นในขณะใช้รับแรงจะมีค่าสูงมาก ดังนั้นจึงต้องนำวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมาใช้ทำสปริง โดยทั่วไปเหล็กใช้ทำสปริงจะเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนสูงกว่า 0.5% แล้วผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้มีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากความสามารถในการยืดหยุ่นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสปริงทั้งนี้เพื่อให้สปริงมีความยืดหดได้มากนั่นเอง นอกจากนี้ยังมีวัสดุประเภทโลหะ เหล็กกล้าไร้สนิม และอื่นๆ ที่ต้องใช้กับงานเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันกัดกร่อนหรือทนทานต่ออุณหภูมิสูงๆ

ขดสปริงที่มีขนาดขดลวดสปริงไม่เกิน 12 มิลลิเมตร จะใช้วิธีขดขณะเย็น แต่ถ้าขดลวดสปริงโตขึ้นก็มักมักจะใช้วิธีขดขณะร้อน ในกรณีของขดลวดสปริงขนาดเล็กอาจจะนำไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนก่อนจะนำมาขดหรือหลังจากการขดแล้วก็ได้ สปริงที่ขดขณะเย็นควรที่จะนำมาอบเพื่อคลายความเค้นที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส นานประมาณ 15 ถึง 60 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของสปริง ขนาดของลวดสปริง สำหรับวัสดุบางชนิดต่อไปนี้เป็นขนาดที่สามารถหาซื้อได้โดยทั่วไป

1. Hard – drawn wire (ASTM A227) เป็นวัสดุที่มีราคาถูกที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตร จนถึง 16 มิลลิเมตร ขดขณะเย็น มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.45% ถึง 0.75% คุณภาพผิวต่ำกว่าวัสดุชนิดอื่น ดังนั้นไม่ควรใช้กับชิ้นงานที่ต้องการอายุการทำงานยาวนานมาก และในชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำในการทำงานมาก อุณหภูมิขณะใช้งานไม่ควรสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส

2. Music wire (ASTM A228) ทำโดยวิธี hard - drawn แต่ใช้เหล็กกล้าที่มีคุณภาพสูง คุณภาพผิวดีเป็นพิเศษ มีคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.70% ถึง 1.00% ขดขณะเย็นได้ ลวดชนิดนี้เป็นลวดที่มีการใช้กันมากที่สุดในจำพวกสปริงขนาดเล็ก มีความแข็งแรงสูง และสามารถทนแรงที่กระทำซ้ำได้ดีมาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งแต่ 0.10 มิลลิเมตร จนถึง 6.35 มิลลิเมตร แต่ไม่ควรนำไปใช้งานในที่ซึ่งอุณหภูมิสูงกว่า 120 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส

3. Oil – tempered wire (ASTM A229) ผลิตโดยวิธีรีดเย็น แล้วจึงชุบแข็งและอบเหนียว มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.55% ถึง 0.75% มักใช้วิธีขดขณะเย็นแล้วอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิประมาณ 230 องศาเซลเซียส ผิวไม่ค่อยดีนักแต่ก็ดีกว่า hard – drawn wire ลวดสปริงชนิดนี้ก็มีใช้กันแพร่หลายทั่วไป เพราะราคาถูกกว่า music wire มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.50 มิลลิเมตร จนถึง 16 มิลลิเมตร แต่ก็สามารถหาขนาดซึ่งใหญ่หรือเล็กกว่านี้ได้ อุณหภูมิที่ใช้กันอยู่ระหว่าง 0 องศาเซลเซียส ถึง 180 องศาเซลเซียส

4. Valve spring quality carbon steel (ASTM 230) เป็น oil – tempered wire ที่มีคุณภาพสูงสุด มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.60% ถึง 0.75% มีผิวดีเป็นพิเศษเทียบเท่า music wire จึงเหมาะกับงานที่อาจจะเสียหายมาจากความล้า มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.5 มิลลิเมตร จนถึง 6.25 มิลลิเมตร

5. Chrome vanadiam steel (ASTM 231) เป็นโลหะผสมที่นิยมใช้กันมากเมื่อโลหะอื่นๆ ไม่สามารถจะทนความเค้นสูงๆ ได้ เหมาะสำหรับแรงที่กระทำซ้ำกันเป็นอย่างยิ่งรับแรงกระแทกได้ดี มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตร จนถึง 12.5 มิลลิเมตร มักใช้ทำสปริงสำหรับวาล์วเครื่องบิน ใช้ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 230 องศาเซลเซียส

6. Chorm silicon steel (ASTM A401) เป็นโลหะผสมที่สามารถรับแรงได้สูงและมีคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกได้ดีใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 250 องศาเซลเซียส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.80 มิลลิเมตร จนถึง 12 มิลลิเมตร

7. Stainless steel (Chorm nicked ASTM A313 หรือ AISI 302) เป็นโลหะที่มีราคาแพงรับแรงได้สูง และสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเหมาะสำหรับรับแรงกระแทก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.20 มิลลิเมตร จนถึง 12.5 มิลลิเมตร ในการผลิตจะใช้วิธีรีดเย็นแล้วคลายความเค้นที่อุณหภูมิสูง

ในโครงงานนี้ เลือกใช้ลวดสปริง Chrome vanadiam steel (ASTM 231) ขนาด $\varnothing$ 10 mm.
จากทฤษฎีของการออกแบบสปริง

สูตร $$\tau = \frac{K8FC}{\pi d^2} \quad (3.3)$$

$$n = \frac{Gd}{8KC^3} \quad (3.4)$$

$$D = \frac{(D_o + D_i)}{2} \quad (3.5)$$

$$L_s = d(n+2) \quad (3.6)$$

$$L_f = L_s + \sigma_s \quad (3.7)$$

$$n_t = n + 2 \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|---|---|---|---|
| ได้ความเค้นแข็งตัว | $\tau_s$ | = | 729.45 $N/mm^2$. |
| ได้ความต้านทานแรงเฉือนคราก | $\tau_y$ | = | 808.99 $N/mm^2$. |
| ความยาวอิสระของสปริง | $L_f$ | = | 120 mm. |
| ความยาวแข็งตัวของสปริง | $L_s$ | = | 60 mm. |
| จำนวนขดของสปริง | $n_t$ | = | 5 mm. |
| เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของขดสปริง | $D_o$ | = | 100 mm |

ลักษณะสปริงเป็นแบบปลายตรงและเจียระไน

## 3.2 ออกแบบชุดโมลด์

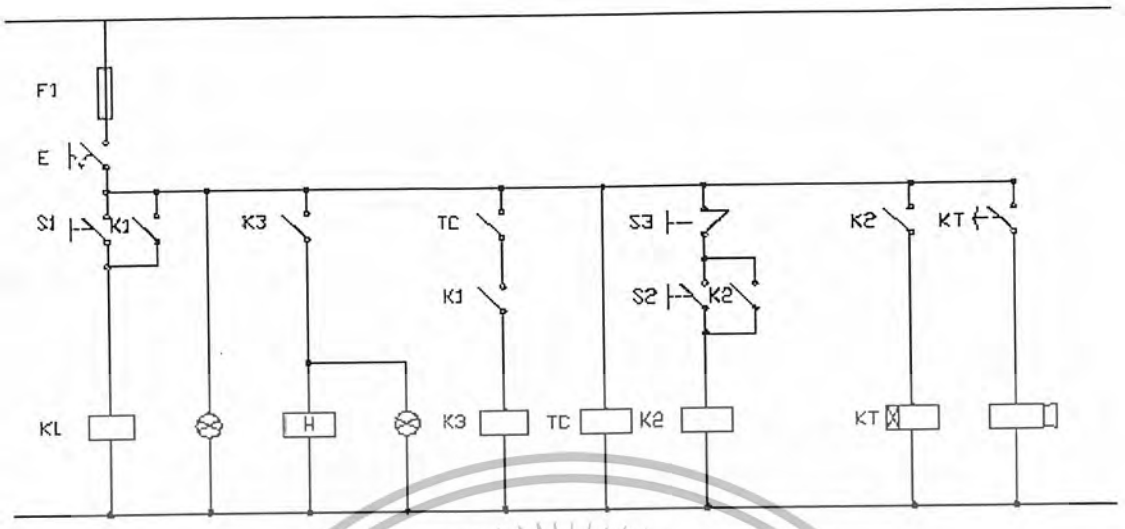
โครงงานนี้ออกแบบให้มีชิ้นงานตัวอย่างทั้งหมด 3 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 30 และ35 มิลลิเมตร ดังนั้นชุดโมลด์จึงมี 3 ขนาด ซึ่งแต่ละขนาดจะมีทั้งหมด 3 ชุด คือ ตัวโมลด์ ฐานอัดโมลด์ และฝาปิดโมลด์ ตัวโมลด์มีเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 50 มิลลิเมตรเท่ากันทั้ง 3 ขนาด รูในนั้นมีขนาดที่แตกต่างกันตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานตัวอย่างคือ 25 30 และ35 มิลลิเมตร ส่วนฐานอัดโมลด์และฝาปิดโมลด์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ขนาด ตามขนาดของชิ้นงานตัวอย่าง วัสดุที่ทำชุดโมลด์นั้น เลือกใช้เหล็กเพลางานร้อน SKD 61 และทำการอบชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1060 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวโมลด์เจียรไนรูในทั้ง 3 ขนาด ส่วนฐานอัดโมลด์นำไปเจียรไนผิวนอก ตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 3 ขนาด

## 3.3 ออกแบบวงจรควบคุม

อุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้ในการออกแบบวงจรควบคุม

1. ฟิวส์
2. ฮีตเตอร์รัดท่อ 220 V
3. รีเลย์ 220 V , 3 ตัว
4. เทอร์โมคัปเปิล Type K
5. สวิทช์ควบคุม 220 V, 4 ตัว
6. แตรสัญญาณ 220 V
7. หลอดไฟ 220 V, 2 ดวง
8. เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล 110 V รุ่น CAL 9900, 1 ตัว
9. รีเลย์ตั้งเวลา 220 V, 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 3.3 วงจรควบคุม

การทำงานของวงจรควบคุมด้วยไฟฟ้า

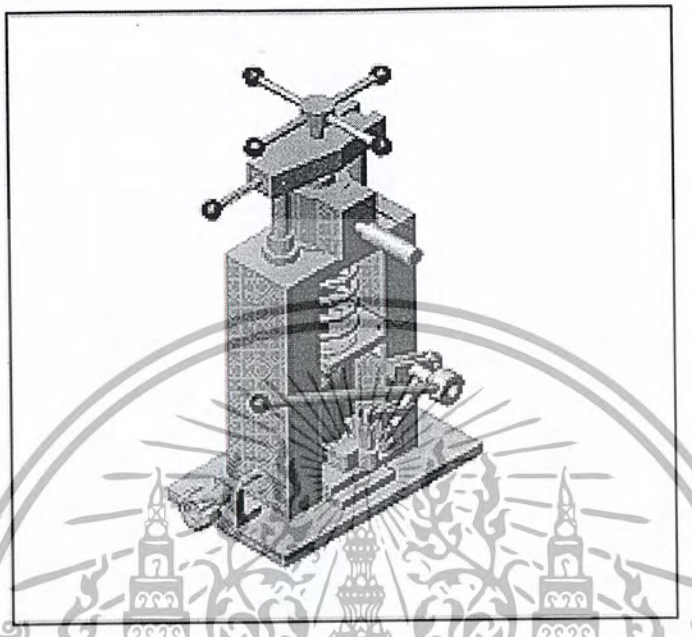
เมื่อกดสวิทช์ E กระแสไฟฟ้าจะถูกจ่ายเข้าที่ชุด Temperature Controller (TC) ทำให้หน้าสัมผัสของ Temperature Controller (TC) เริ่มทำงานด้วย ในขณะเดียวกันก็จะมีหลอดไฟติดหนึ่งดวง จากนั้นเมื่อกดสวิทช์ S1 กระแสไฟจะถูกจ่ายไปที่รีเลย์ (K1) เพื่อสั่งให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ (K1) จ่ายกระแสไฟฟ้าไปที่รีเลย์ (K3) ให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ (K3) จ่ายไฟฟ้าเข้าฮีตเตอร์ให้ฮีตเตอร์เริ่มทำงาน และเมื่อฮีตเตอร์เริ่มทำงานจะมีหลอดไฟติดเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งดวง เมื่ออุณหภูมิฮีตเตอร์สูงขึ้นไปจนถึงค่าๆหนึ่งที่ได้ตั้งไว้ที่ Temperature Controller (TC) จะทำให้หน้าสัมผัสของ Temperature Controller (TC) หยุดทำงาน อุณหภูมิของฮีตเตอร์จะลดลงไปจนถึง 20 เปอร์เซ็นต์ของอุณหภูมิที่ตั้งไว้ที่ Temperature Controller (TC) เมื่ออุณหภูมิลดลงไปถึงจุดๆหนึ่งแล้วหน้าสัมผัสของ Temperature Controller (TC) ก็จะเริ่มทำงานใหม่ ไปสั่งให้ฮีตเตอร์ทำงาน จากนั้นเมื่อกดสวิทช์ S2 กระแสไฟจะถูกจ่ายไปที่รีเลย์ (K2) เพื่อสั่งให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ (K2) จ่ายกระแสไฟฟ้าไปที่รีเลย์ ตั้งเวลา(KT) เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ หน้าสัมผัสของรีเลย์ตั้งเวลา (KT) จะจ่ายกระแสไฟฟ้าไปที่แตรสัญญาณทำให้แตรสัญญาณดัง และเมื่อกดกดสวิทช์ S3 แตรสัญญาณจะหยุดทำงาน

## 3.4 หลักการทำงานของเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก

เลือกโมลด์ตามขนาดของชิ้นงานตัวอย่างที่ต้องการและทำการติดตั้ง เปิดสวิทช์ควบคุมเครื่องเมื่อมีกระแสไฟฟ้าในเครื่องจะมีหลอดไฟติด เปิดสวิทช์ควบคุม Temperature Controller และตั้งค่าอุณหภูมิไปที่ 150 องศาเซลเซียส สังเกตอุณหภูมิจากหน้าจอแสดงค่าของ เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller) เมื่ออุณหภูมิถึง 150 องศาเซลเซียส นำชิ้นงานโลหะวางบนกึ่งกลางของฐานโมลด์ ใส่ผงเบคเคอไลท์ให้เต็ม ปิดฝาโมลด์หมุนจนแน่น หมุนล็อควาล์วน้ำมันของแม่แรงไฮโดรลิกให้แน่น โยกคันบังคับเพื่ออัดผงเบคเคอไลท์ ตามค่าแรงดันที่กำหนด โดยสังเกตจากเข็มของเกจวัดความดัน จากนั้นกดปุ่มตั้งเวลา รอจนกว่าแตรสัญญาณจะดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจึงมากดปุ่มปิดเพื่อสั่งให้แตรสัญญาณหยุดทำงาน แล้วจึงเปิดฝาโมลด์ออก โยกคันบังคับเพื่อดันแบบชิ้นงานออกมา นำคีมคีบชิ้นงานออกจากโมลด์ เพื่อเตรียมไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ



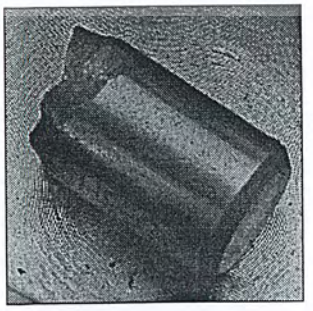
รูปที่ 3.4 โครงสร้างภายในของเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติที่ทำการออกแบบ

## 3.5 แผนการทดลอง

การผลิตชิ้นงานตัวอย่างนั้น สิ่งสำคัญคือ การเตรียมชิ้นงานที่เป็นโลหะที่มีขนาดเล็ก ผงเบคเคอไลท์ที่จะทำการอัด

- การเตรียมชิ้นงานโลหะที่จะนำมาอัดเข้ากับผงเบคเคอไลท์

ลักษณะของชิ้นงานโลหะที่จะนำมาอัดเข้ากับผงเบคเคอไลท์นั้น ส่วนมากจะมีลักษณะเป็นโลหะที่มีขนาดเล็กหยิบจับลำบาก ฉะนั้นจึงต้องนำมาอัดเข้ากับผงเบคเคอไลท์เพื่อสะดวกในการหยิบจับนำไปทดสอบทางโลหวิทยา

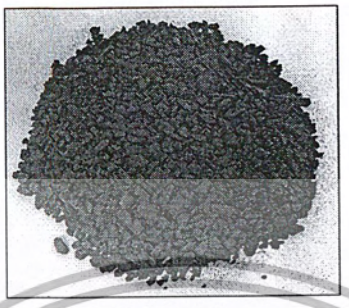


**รูปที่ 3.5 ชิ้นงานโลหะที่จะนำมาอัดเข้ากับผงเบคเคอไลท์**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเตรียมผงเบคเคอไลท์ที่จะนำมาอัด

ผงเบคเคอไลท์ที่จะนำมาทดลองอัดนั้นจะมีลักษณะเป็นผงพลาสติกละเอียด สีดำ ซึ่งปริมาณที่จะใส่ลงไปในโมลด์นั้นจะใส่จนเต็มความสูงของโมลด์



รูปที่ 3.6 ผงเบคเคอไลท์ที่จะนำมาอัด

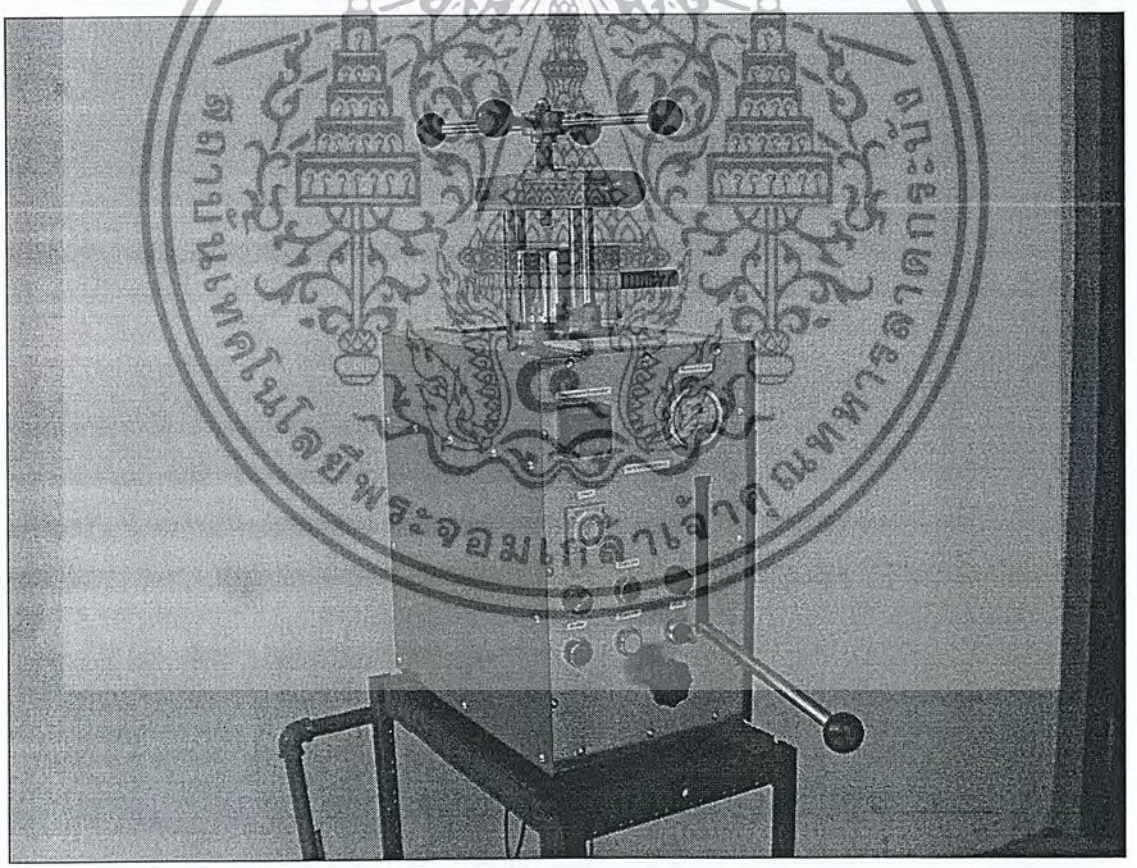
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่4
# ผลการดำเนินงาน

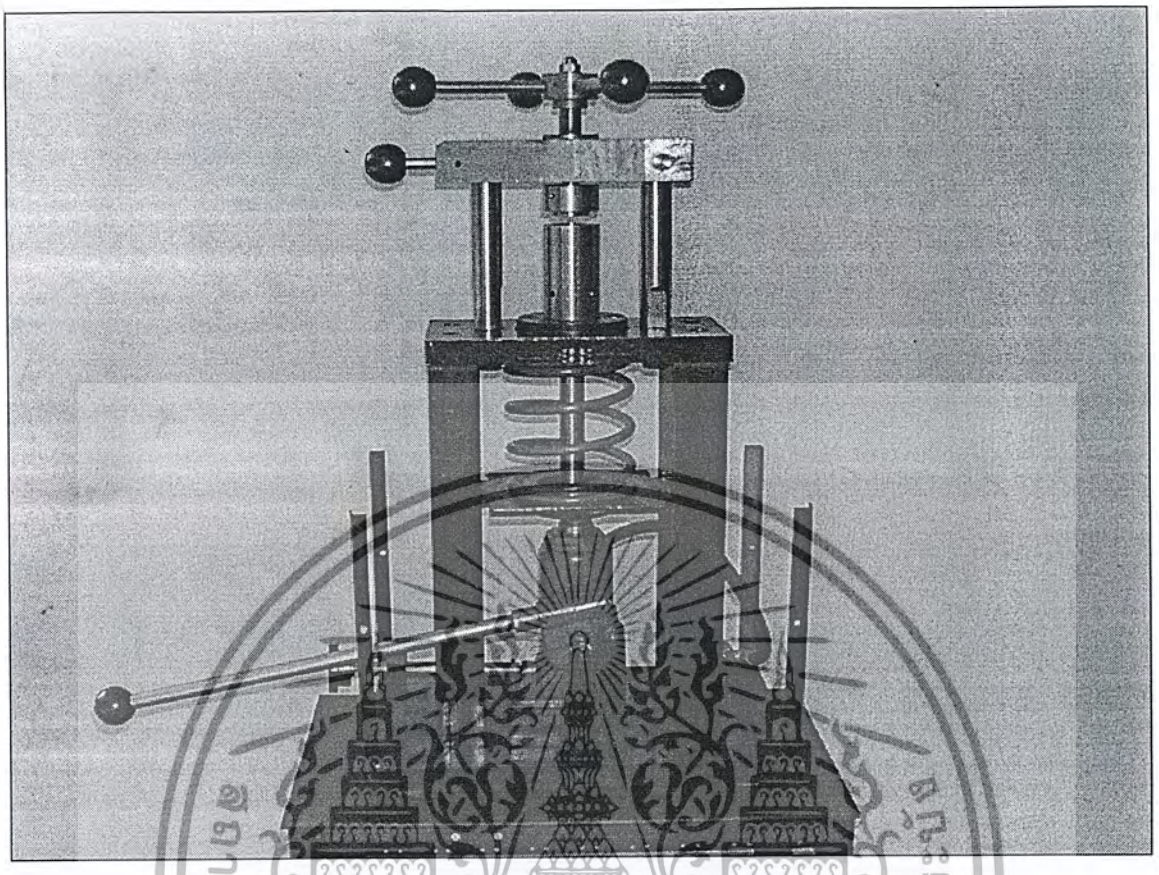
## 4.1 ผลการดำเนินงานด้านตัวเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก

ลักษณะโดยรวมของตัวเครื่องที่ได้ดำเนินการออกแบบและสร้างขึ้นจะมีขนาด ความกว้าง 260 มิลลิเมตร ยาว 405 มิลลิเมตร สูง 650 มิลลิเมตร ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ในการจ่ายเข้าตัวเครื่องเพื่อควบคุม รีเลย์ สวิทช์ รีเลย์ตั้งเวลา และใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์ เพื่อควบคุม เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล (Temperature Controller) ซึ่งตัวเครื่องสามารถทำการเคลื่อนย้ายหรือติดตั้งได้อย่างสะดวก ดังแสดงในรูปที่ 4.1



**รูปที่ 4.1 โครงสร้างโดยรวมของเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก**

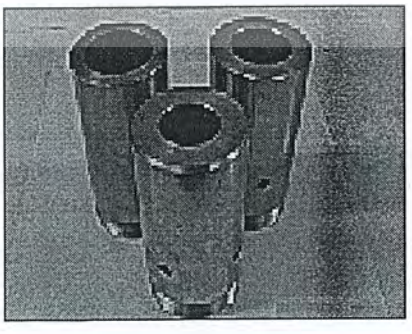
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 4.2 โครงสร้างภายในของเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก**

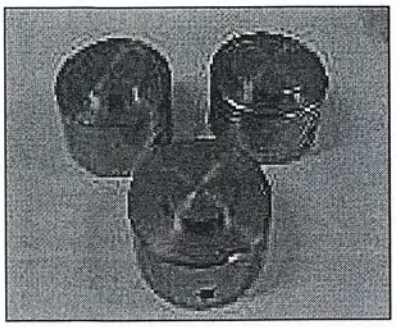
### 4.1.1 ชุดโมลด์

จากการออกแบบชุดโมลด์ ที่จะนำมาใช้ผลิตชิ้นงานสำเร็จนั้นจะมีด้วยกันทั้งหมด 3 ชุดต่อชิ้นงานหนึ่งขนาด คือ ฝาปิดโมลด์ โมลด์ ฐานอัดโมลด์ ซึ่งชุดโมลด์ทั้งหมดผลิตจากเหล็กเพลางานร้อน SKD 61 ผ่านการอบชุบแข็งทั้งหมดที่อุณหภูมิ 1060 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นรูในของโมลด์จะทำการเจียรไนตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 3 ขนาด ส่วนฐานอัดโมลด์จะทำการเจียรไนผิวนอกทั้ง 3 ขนาดเช่นเดียวกัน

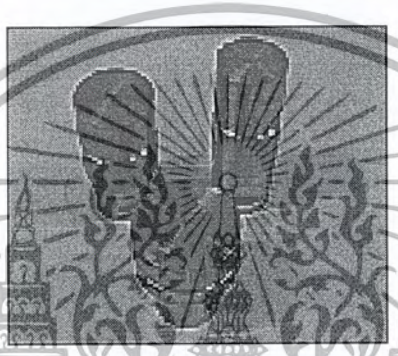


**รูปที่ 4.3 โมลด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูใน 25 30 และ35 มิลลิเมตร**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



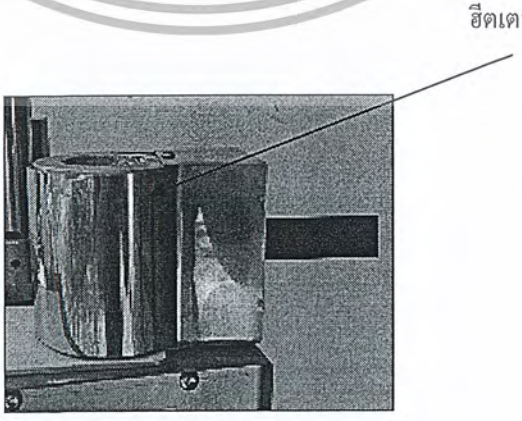
รูปที่ 4.4 ฝาปิดโมลด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 30 และ35 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.5 ฐานอัดโมลด์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 30 และ35 มิลลิเมตร

### 4.1.2 ฮีตเตอร์

ฮีตเตอร์ที่ใช้ในโครงงานนี้เป็นแบบชนิดรัดท่อ มีขนาดความสูง 80 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อรัดสุด 80 มิลลิเมตร มีกำลังวัตต์ 500 วัตต์ ตัวฮีตเตอร์จะรัดอยู่กับอลูมิเนียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 80 มิลลิเมตร สูง 80 มิลลิเมตร ในตัวอลูมิเนียมนั้นจะฝังเทอร์โมคัปเปิล Type K ไว้ซึ่งจะมีกล่องครอบไว้เพื่อป้องกันความร้อนจากการสัมผัส




รูปที่ 4.6 ฮีตเตอร์รัดท่อ

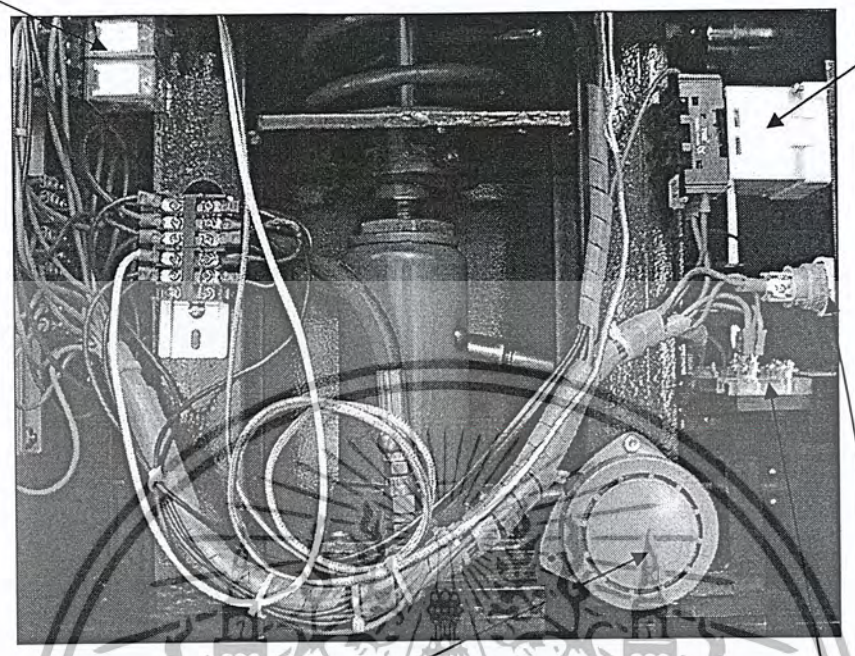
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการดำเนินงานด้านวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงาน

วงจรไฟฟ้าเป็นการต่อของอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ คือ รีเลย์ สวิทช์ควบคุม รีเลย์ตั้งเวลา เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล เพื่อควบคุมอุณหภูมิของฮีตเตอร์ที่ใช้ในการหลอมผงเบคเคอไลท์ และตั้งเวลาในการเวลาการแข็งตัวของผงเบคเคอไลท์

**รูปที่ 4.7 ชุดอุปกรณ์ควบคุม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




รูปที่ 4.8 การต่อวงจรไฟฟ้ากับอุปกรณ์ควบคุม

## 4.3 ผลการทดลอง

การทดลองได้ทำการทดลองอัดผงเบคเคอไลท์เพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการใส่ชิ้นงานโลหะลงไปในโมลด์ ในการทดลองนั้นมีการกำหนดตัวแปรในการทดลองคือ

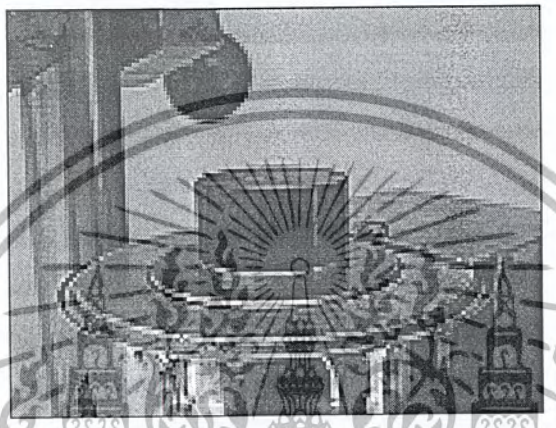
- แรงดันในการอัดผงเบคเคอไลท์ใช้ 290 บาร์
- อุณหภูมิในการหลอมผงเบคเคอไลท์อยู่ที่ช่วง 150 – 160 องศาเซลเซียส
- ใช้เวลาในการแข็งตัวของผงเบคเคอไลท์ 10 นาที

ซึ่งตัวแปรในการทดลองที่กำหนดนั้น จะใช้ในการทดลองชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 3 ขนาดคือ ชิ้นงานตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 30 และ35 มิลลิเมตร ในการทดลองนั้นต้องการความหนาของชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 3 ขนาดหลังจากการอัด คือ 14 มิลลิเมตร เพื่อสะดวกในการนำไปส่องกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งความหนานั้นจะขึ้นอยู่ที่ปริมาณผงผงเบคเคอไลท์ที่ใส่ลงไปในโมลด์ก่อนทำการอัด

จากการทดลองในการอัดผงเบคเคอไลท์นั้นได้ ปริมาณผงเบคเคอไลท์ที่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างมีความหนา 14 มิลลิเมตร คือ

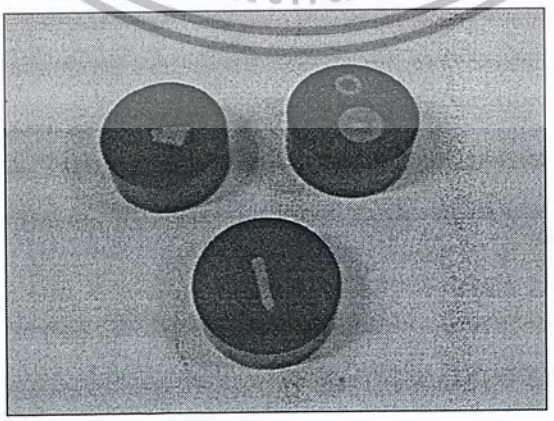
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชิ้นงานตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ใช้ปริมาณผงเบคเคอไลท์ 12.5 กรัม ได้ความหนา 14 มิลลิเมตร
- ชิ้นงานตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ใช้ปริมาณผงเบคเคอไลท์ 14.2 กรัม ได้ความหนา 14.1 มิลลิเมตร
- ชิ้นงานตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร ใช้ปริมาณผงเบคเคอไลท์. 18.5 กรัม ได้ความหนา 14 มิลลิเมตร



**รูปที่ 4.9 ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้หลังจากการอัด**

ในการอัดผงเบคเคอไลท์เพื่อนำไปใช้งานจริงนั้นจะต้องมีการใส่ชิ้นงานโลหะลงไปในชุดโมลด์ก่อน จึงจะใส่ผงเบคเคอไลท์ตามลงไป ขนาดของชิ้นงานโลหะนั้นมีผลโดยตรงกับปริมาณผงเบคเคอไลท์ที่จะใส่ลงไป ยิ่งขนาดของชิ้นงานโลหะมีขนาดใหญ่ ปริมาณของผงเบคเคอไลท์ที่ต้องใส่ลงไปในโมลด์ก็จะมากตามไปด้วยคือใส่ให้กลบชิ้นงานโลหะขึ้นมาประมาณ 5 - 10 มิลลิเมตร และจะส่งผลไปถึงความหนาของชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการอัด ให้มีความหนาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



**รูปที่ 4.10 ชิ้นงานตัวอย่างทั้ง 3 ขนาดที่ได้หลังจากการอัด ซึ่งมีการใส่ชิ้นงานโลหะลงไป**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# การสรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

## 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

1. สามารถสร้างเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติกได้ตามที่ออกแบบไว้

2. ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากการอัดด้วยเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 30 35 มิลลิเมตร

3. ความหนาของชิ้นงานตัวอย่างนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของ ชิ้นงานโลหะและปริมาณของผงเบคเคอไลท์ที่ใส่ลงไปในโมลด์

4. การตั้งเวลาในการแข็งตัวของผงเบคเคอไลท์นั้นไม่ควรตั้งเวลาต่ำกว่า 10 นาที เนื่องจากผงเบคเคอไลท์ยังไม่แข็งตัวดีและไม่สามารถนำชิ้นงานตัวอย่างออกมาจากโมลด์ได้

5. ชิ้นงานตัวอย่างที่ได้จากเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก สามารถนำไปทดสอบความแข็งหรือส่องกล้องจุลทรรศน์ทางโลหวิทยาได้

6. สายไฟที่ต่อเข้ากับฮีตเตอร์ควรเป็นสายไฟที่หุ้มฉนวนกันความร้อน เพื่อป้องกันความเสียหายกับอุปกรณ์ใกล้เคียง อันเนื่องมาจากความร้อนของฮีตเตอร์ได้

7. วงจรควบคุมสามารถทำงานได้จริงตามที่ได้ออกแบบ

8. การใช้แรงในการอัดชิ้นงานจากการโยก คันโยกของแม่แรงนั้นควรใช้แรงจากคันโยกโดยตรงไม่ควรมีชุดถ่ายกำลังจากคันโยก เพราะทำให้การออกแรงโยกนั้นต้องใช้แรงมากกว่าการโยกโดยตรง และไม่แข็งแรง

9. การผลิตชิ้นงานตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ใช้แรงดันในการอัด 290 บาร์ ปริมาณผงเบคเคอไลท์. 12.5 กรัม อุณหภูมิในการหลอมผงเบคเคอไลท์ 150 - 160 องศาเซลเซียส เวลาในการแข็งตัวของผงเบคเคอไลท์ 10 นาที ได้ความหนาชิ้นงานสำเร็จหลังการอัด 14 มิลลิเมตร

10. การผลิตชิ้นงานตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร แรงดันในการอัด 290 บาร์ ปริมาณผงเบคเคอไลท์ 14.2 กรัม อุณหภูมิในการหลอมผงเบคเคอไลท์ 150 – 160 องศาเซลเซียส เวลาในการแข็งตัวของผงเบคเคอไลท์ 10 นาที ได้ความหนาชิ้นงานสำเร็จหลังการอัด 14.1 มิลลิเมตร

11. การผลิตชิ้นงานตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร แรงดันในการอัด 290 บาร์ ปริมาณผงเบคเคอไลท์ 18.5 กรัม อุณหภูมิในการหลอมผงเบคเคอไลท์ 150 - 160 องศาเซลเซียส เวลาในการแข็งตัวของผงเบคเคอไลท์ 10 นาที ได้ความหนาชิ้นงานสำเร็จหลังการอัด 14 มิลลิเมตร

## 5.2 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและการสร้างเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก ซึ่งผลการดำเนินการที่ได้ ตัวเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติกนั้นสามารถทำงานและผลิตชิ้นงานได้จริงตามที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานตัวอย่างสามารถนำไปทดสอบทางโลหวิทยา ทั้งการขัดกับเครื่องขัดกระดาษทราย ทดสอบความแข็ง และการส่องกล้องจุลทรรศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


1. มนตรี โชติวรวิทย์ , ชนินทร์ นุ่มศิริ , อัศวิน สารวิถี , ประสิทธิ์ วิวัฒน์ชาญกิจ , หลักการทำงานและเทคนิคการประยุกต์ใช้งานไฮดรอลิก , วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน
2. ศ.ดร. วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ , รศ. ชาญ ถนัดงาน , การออกแบบเครื่องจักรกล , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
3. พรศักดิ์ อรรถวานิช , วัสดุศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



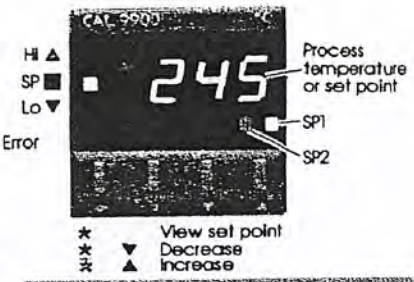
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก
# คู่มือการปรับแต่งเครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CAL 9900
# AUTOTUNE PID TEMPERATURE CONTROLLER
# INSTALLATION AND OPERATING MANUAL

CAL Controls




The CAL 9900 microprocessor based temperature controller provides precise control with a minimum of setting up, the advanced Autotune algorithm tunes all five control parameters automatically. The simple setting up procedure below is normally sufficient, specialised applications may need the comprehensive 9900 features covered in this manual.


**KEY CONTENTS GUIDE**
9 Important caution, please read first
10 Installation, 1 Setting up
2, 3, 5 Autotune, 6 Prop cycle-time
Functions, 4 Selection, 8 Table
7 Alarms, 11 Error messages


## INSTALLATION

Install the 9900 controller in panel **see 10.2**
Wire up connections **see 10.1**

## 1 TO SELECT SENSOR AND ADJUST SET POINT

Step 1

POWER UP
Self check sequence

Step 2

ZERO FLASHES ON LEFT
Indicating no sensor selected

Note
Buttons only adjust flashing digits **(shown green)**

Step 3

PRESS ▲ TO SELECT SENSOR e.g. Type K = 2
Sensor options:
(For full table **see 8**)

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| J | 1 | R | 4 | E | 7 | RTD | 9 |
| K | 2 | S | 5 | L | 8 | PT100 | |
| N | 3 | T | 6 | B | 10 | | |

Step 4

PRESS P TO ENTER SENSOR INTO MEMORY
Display shows process temperature e.g. Ambient

Step 5

PRESS ✱ TO DISPLAY SET POINT

Step 6

PRESS AND HOLD ✱
PRESS ▲ TO INCREASE SET POINT

Output turns on and temperature rises

The controller is now operational with factory PID settings:

Prop band 2.5%
Prop time 20 sec
Derivative 25 sec
Integral 5 min
DAC approach control 1.5

## 2 IMPORTANT – Please read before using Autotune AT

1 If required adjust: Range, Hi-res 0.1°, Negative temperature ranging, **see 8**
2 Proportional cycle-time: 20 sec factory set, if unsuitable change now or use Autotune calculated value after tuning run **see 6**
3 For best results use normal set point and load conditions
4 Start Autotune AT with the load cool

**TO AUTOTUNE**

Step 7

START AUTOTUNE 'AT' NEAR AMBIENT

Step 8

PRESS P TO ACCESS PROGRAM MODE
Function 0 flashes on right

Step 9

PRESS ✱ TO CHANGE TO OPTION SELECTION
Option 0 flashes on left

Step 10

PRESS ▲ TO SELECT AUTOTUNE 'AT'
Option 1

Step 11

PRESS P TO START AUTOTUNE 'AT'

AT and Process temperature displayed alternately during Autotune

## 3 AUTOTUNE TYPES AND USES

Two types of Autotune are provided to ensure optimum control of a wide range of applications

AUTOTUNE AT – Normal method, tunes during warm up

AUTOTUNE PT – (Push-to-Tune) – For difficult applications, tunes at set point

### 3.1 AUTOTUNE AT

Start Autotune AT with the load cool. A short tuning cycle occurs at 75% set point during warm up. New PID values are automatically entered and the temperature rises to set point

| Autotuned parameters | Autotune limits |
|---|---|
| Entered automatically: | |
| Proportional band/Gain | 0.5 – 200 c/range |
| Integral time/Reset | 0.2 – 43.5 min |
| Derivative time/Rate | 1.0 – 255 sec |
| DAC approach control | 0.5 – 9.0 x gain |
| Proportional cycle time | 0.8 – 819 sec |

Calculated but for safety reasons needs manual acceptance **see 6**

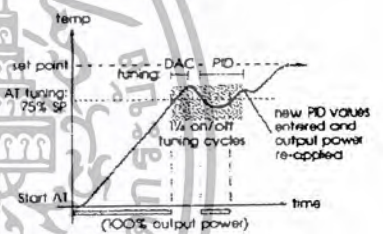



Fig. 1 Autotune AT

### 3.2 AUTOTUNE PT (Push-to-Tune) Select Opt 2 at 2 step 10

Used to fine tune difficult applications at set point. Useful if the set point or thermal conditions are substantially changed. During PT tuning some overshoot will occur. If this is unacceptable, temporarily reduce set point. PT tunes the parameters listed above except DAC. Proportional cycle time is re-calculated but needs manual acceptance

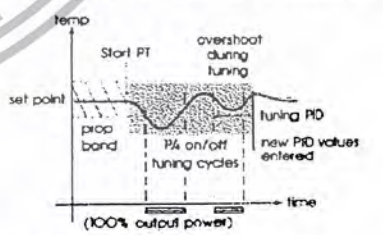



Fig. 2 Autotune PT

### 3.3 OVERIDING AUTOTUNE VALUES

After AT/PT any Autotuned parameter may be changed to an Option from the table. The original Autotuned value is retained in memory.
Note Subsequent Autotune AT or PT run replaces manual selections with new calculated values (except Cycle time)


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CONTROLLER FUNCTIONS DISPLAY AND SELECTION PROCEDURE

The facilities of the 9900 are selected from the Functions and Options Table **see 8** using program mode
Functions (Fn) – The available controller facilities
Options (Opt) – The available values for each Function e.g. Function 5 Option 0 (Fn 5/Opt 0) = SP1 Prop band of 2.5%
Note 1 Should difficulty occur in adjusting Options check the Parameter lock **see 14**
Note 2 Normal control is maintained with existing settings during programming

Step 1

PRESS P TO ENTER PROGRAM MODE

Step 2

PRESS AND HOLD ▲ INDEX TO FUNCTION e.g. Function 16 (Sensor select) flashes

Step 3

PRESS ✱ CHANGE TO OPTION SELECTION e.g. Option 2 (Type K)

Step 4

PRESS ▼ or ▲ SELECT OPTION REQUIRED e.g. Option 1 (Type J)

Step 5

PRESS ✱ CHANGE TO FUNCTION SELECTION Set other Functions as required

Step 6

PRESS P TO EXIT PROGRAM MODE WHEN SELECTIONS COMPLETE Process temperature displayed

Control commences with new instructions now entered in memory

## 2 MODE B – FUNCTION/OPTION DISPLAY PROCEDURE

Used in Function 2 to set full scale alarms and Function 24 – Range adjustment. Mode B enables all digits to be used for Options values

Step 1

PRESS ▲ TO INDEX TO FUNCTION e.g. Function 24 (Range adjustment) flashes
Note 2 bars = Mode B

Step 2

PRESS ✱ TO DISPLAY OPTION VALUE e.g. Range 400° flashes

Step 3

PRESS AND HOLD ✱ ▲ PRESS TO INCREASE
PRESS ▼ TO DECREASE OPTION VALUE

## 5 AUTOTUNE HINTS

5.1 Autotune error messages **see 11** (EE5-7)

(Latched: PRESS ▼▲ to reset)
AT/PT tunes most applications satisfactorily, but if tuning fails and error messages repeatedly occur, the application has unusual characteristics requiring manual tuning **see 21**

5.2 Tuning with set point near ambient

Difficult both to control and Autotune. Use PT. If tuning fails try with Fn 5/Opt 1, otherwise increase set point or tune manually

5.3 In High Resolution (0.1°)

Should error message EE6 occur during tuning, select normal resolution (Fn 18/Opt 0) then Autotune and afterwards re-select Hi-res. (check range setting Fn 24)

5.4 AUTOTUNE VALUE DISPLAY

At the end of an Autotune run the AT value is automatically entered and may be displayed in Functions:

| | |
|---|---|
| 5 | Prop band/Gain |
| 6 | Derivative time/Rate |
| 7 | DAC approach control |
| 8 | Integral time/Reset |

Step 1

PRESS P TO ENTER PROGRAM MODE

Step 2

PRESS ▲ TO INDEX TO FUNCTION e.g. Function 5 Prop band AT value = 3.5%

Note 3 LED's show an AT value displayed

## 6 PROPORTIONAL CYCLE TIME

6.1 Autotuned cycle time

Autotune calculates the optimum value but for safety reasons does not automatically implement it

6.2 If the cycle time needed is known

Applications known to require shorter times than the 20 sec factory setting, including SSR drive (1 sec), linear outputs (0.05 sec) should select the appropriate Option in Function 4 using the procedure **see 4**. This setting will not be changed, but may be replaced with the calculated AT value if preferred after the Autotune run

6.3 Normal procedure

Run Autotune AT **see 2**. When complete (alternating AT display stops) display the AT calculated cycle time and accept if suitable, this will then replace the 20 sec factory setting

Step 1

Index to Function 4
For procedure **see 4**
Option 0: 20 sec factory setting

Step 2

PRESS ✱ TO CHANGE TO OPTION SELECTION

Step 3

PRESS ▲ TO DISPLAY CALCULATED AT VALUE e.g. 9.8 sec
Note Flashing bar shows calculated AT value is displayed

Step 4

IF AT VALUE SUITABLE

PRESS P TO ACCEPT AT VALUE NOW OPERATIONAL

OR IF AT VALUE UNSUITABLE

PRESS ▲ TO SELECT A SUITABLE OPTION FROM TABLE e.g. Option 4: 30 sec

6.4 AT Cycle time values in Function 4

Two AT cycle time values are stored, to enable the current operational value to be retained, until a new value from a subsequent Autotune run is considered
Example of two AT cycle time values after a subsequent Autotune run:

Step 5

Index to Function 4
Operational AT value – 9.8 sec
As accepted previously
(Step 4) Note 3 LED's ON

Step 6

PRESS ✱ TO CHANGE TO OPTION SELECTION

Step 7

PRESS ▲ TO DISPLAY Latest calculated AT value e.g. 7.2 sec
Note Flashing bar

Step 8

**Alternative actions:**

PRESS P to accept the latest calculated AT value – 7.2 sec which replaces 9.8 sec as the operational AT value

OR PRESS ▼ to display current operational AT value. Then PRESS P to retain 9.8 secs

OR PRESS ▲ to select Option from Table

## 7 ALARMS

7.1 SP2 Operating mode

The operating mode must be selected at Function 19 before adjusting SP2 at Function 2

7.2 Alarm output operation

The alarm output is failsafe, SP2 relay is de-energised and SP2 red LED on during the alarm condition (Not with SP2 in Proportional mode)

7.3 LBA – Loop break alarm **see Fig. 3**

LBA detects a control loop fault, and displays an error message (EE3). The alarm relay may be configured to act also
LBA operates if the controller fails to receive the correct response to the output within a set time, technically:
LBA occurs when SP1 output is saturated 0% or 100% and the process temperature fails to move a minimum 50% prop band in the LBA time. SP1 output state is unaffected by LBA alarm condition

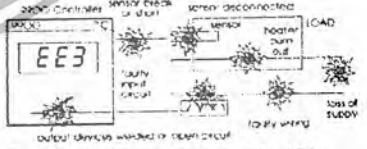



Fig. 3 Typical faults detected by LBA

7.4 Selecting LBA – EE3 message only

1. Index to Function 12 – LBA time Option 0 – LBA OUT, displayed
2. PRESS ✱ to change to option selection
3. PRESS ▼ to select Option 14 The recommended initial setting (2 x Integral time in use)
4. LBA alarm condition: EE3 displayed, alternating with process temperature display latches, to reset PRESS ▼▲ together

To configure Alarm relay SP2 to LBA Select Option 6 in Function 19 (Relay latches in alarm condition, to reset PRESS ▼▲ )
Note Use LBA with SP2 ON/OFF mode only (Fn 10/Opt 0). Reset EE3/Relay before any other program changes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8 FUNCTIONS AND OPTIONS TABLE
**Please read these important notes first**

1. **Factory setting:** is Option O (except Functions 2 and 22)

2. **Initial configuration:**
Functions 16-24 must be selected first then entered into memory by exiting Program mode - **see 4** then Autotune and other Functions may be selected

3. **Protected Functions:**
All Functions, except User Settings (Functions 1, 2, 3) may be locked in memory after setting to prevent tampering.
**See 14** Parameter lock

4. **AT values** (marked ▲▼): As calculated on the latest AT or PT run

5. **Locating Functions:**
Function O is the Program mode entry point
Pressing ▲ increments
▼ moves direct to Function 13 for access to higher Functions
Hold pressed to auto index through table
(Functions 13, 14, 25 are unused)

| Fn No. | Opt No. | Parameter |
|---|---|---|
| | | **OPERATING MODE** ... Protected |
| O | | **Operating mode** |
| | O | **Normal Operation** |
| | 1 | Start Autotune AT |
| | 2 | Start Autotune PT |
| | 3 | Park mode |
| | 4 – 100 | Manual heat % |
| | | **USER SETTINGS** ... Unprotected |
| 1 | | **Manual Reset** (OUT IN PID) |
| | | 1° steps (max ±127°/50% prop band) |
| 2 | | **SP2 Adjust** |
| | | 1° steps Factory setting 5° SP2 mode must be selected in Function 19 **before** adjusting SP2 |
| | | SP2 mode (Fn 19) — Option No. — Function 2 range |
| | | Deviation alarm — 1 – 3 — O – 127° |
| | | Full scale alarm — 4 – 5 — O – * |
| | | Cool strategy — 7 — ±127° |
| | | (* Sensor range : Fn 16) |
| 3 | | **SP1 Lock** |
| | O | **Unlocked** |
| | 1 | Locked |
| | | **OPERATIONAL PARAMETERS** ... Protected |
| 4 | | **SP1 Proportional cycle time** |
| | O | **20 sec** |
| | 1 | 1 sec |
| | 2 | 5 sec |
| | 3 | 10 sec |
| | 4 | 30 sec |
| | 5 | 60 sec |
| | 6 | 0.05 sec |
| | 7 | ON/OFF |
| | 8 | 0.3 sec |
| | 9 | 2 sec |
| | 10 | 3 sec |
| | 11 | 7 sec |
| | 12 | 14 sec |
| | 13 | 45 sec |
| | 14 | ▲▼ **Operational AT value** |
| | 15 | **Latest calculated AT value** |
| 5 | | **SP1 Proportional band/Gain** — **SP1 Hysteresis in ON/OFF mode** |
| | O | **2.5%** CR — **1.25%** |
| | 1 | 0.5% — 0.25% |
| | 2 | 1% — 0.5% |
| | 3 | 2% — 1% |
| | 4 | 3% — 1.5% |
| | 5 | 5% — 2.5% |
| | 6 | 10% — 5% |
| | 7 | 20% — 10% |
| | 8 | 1.5% — 0.75% |
| | 9 | 4% — 2% |
| | 10 | 6% — 3% |
| | 11 | 7% — 3.5% |
| | 12 | 8% — 4% |
| | 13 | 14% — 7% |
| | 14 | 100% — 50% |
| | 15 | ▲▼ **AT value** |
| 6 | | **SP1 Derivative time/Rate** |
| | O | **25 sec** |
| | 1 | OUT |
| | 2 | 5 sec |
| | 3 | 10 sec |
| | 4 | 60 sec |
| | 5 | 100 sec |
| | 6 | 200 sec |
| | 7 | 1 sec |
| | 8 | 2 sec |
| | 9 | 3 sec |
| | 10 | 7 sec |
| | 11 | 15 sec |
| | 12 | 20 sec |
| | 13 | 35 sec |
| | 14 | 75 sec |
| | 15 | ▲▼ **AT value** |

| Fn No. | Opt No. | Parameter |
|---|---|---|
| | | **OPERATIONAL PARAMETERS** ... continued |
| 7 | | **SP1 DAC** approach control |
| | O | 1.5 x prop band |
| | 1 | 0.5 |
| | 2 | 1.0 |
| | 3 | 2.0 |
| | 4 | 2.5 |
| | 5 | 3.0 |
| | 6 | 4.0 |
| | 7 | ▲▼ **AT value** |
| 8 | | **SP1 Integral time** |
| | O | **5 min** |
| | 1 | OUT |
| | 2 | 0.5 min |
| | 3 | 1 min |
| | 4 | 2 min |
| | 5 | 3 min |
| | 6 | 10 min |
| | 7 | 18 min |
| | 8 | 0.2 min |
| | 9 | 7 min |
| | 10 | 13 min |
| | 11 | 25 min |
| | 12 | 33 min |
| | 13 | 43 min |
| | 14 | ▲▼ **AT value** |
| 9 | | **Sensor error correction** |
| | | 1° steps (±127° max) |
| 10 | | **SP2 Proportional cycle time** |
| | O | ON/OFF |
| | 1 | 1 sec |
| | 2 | 5 sec |
| | 3 | 10 sec |
| | 4 | 20 sec |
| | 5 | 60 sec |
| | 6 | 0.05 sec |
| | 7 | 30 sec |
| | 8 | 2 sec |
| | 9 | 3 sec |
| | 10 | 7 sec |
| | 11 | 14 sec |
| | 12 | 45 sec |
| | | **Non linear ranges for Cool strategy** |
| | 13 | 0.15–10 sec |
| | 14 | 0.15–20 sec |
| | 15 | 0.06–15 sec |
| 11 | | **SP2 Proportional band/Gain** — **SP2 Hysteresis in ON/OFF mode** |
| | O | **2.5%** CR — **1.25%** |
| | 1 | 0.5% — 0.25% |
| | 2 | 1% — 0.5% |
| | 3 | 2% — 1% |
| | 4 | 3% — 1.5% |
| | 5 | 5% — 2.5% |
| | 6 | 10% — 5% |
| | 7 | 20% — 10% |
| | 8 | 1.5% — 0.75% |
| | 9 | 4% — 2% |
| | 10 | 6% — 3% |
| | 11 | 7% — 3.5% |
| | 12 | 8% — 4% |
| | 13 | 14% — 7% |
| | 14 | 100% — 50% |
| 12 | | **LBA** ... Loop break alarm – time |
| | O | **OUT** |
| | 1 | 1 min |
| | 2 | 2 min |
| | 3 | 4 min |
| | 4 | 6 min |
| | 5 | 8 min |
| | 6 | 10 min |
| | 7 | 15 min |
| | 8 | 20 min |
| | 9 | 30 min |
| | 10 | 40 min |
| | 11 | 50 min |
| | 12 | 70 min |
| | 13 | 90 min |
| | | **Recommended initial setting:** |
| | 14 | **2 x Operational Integral time** |
| 15 | | **Reset Functions O – 24 to factory settings** |
| | O | **Normal** |
| | 1 | Reset (Function 22 not reset) |

**Abbreviations:**

**Fn** – Function
**Opt** – Option
**SR** – Sensor range
**CR** – Configured range

| Fn No. | Opt No. | Parameter |
|---|---|---|
| | | **INITIAL CONFIGURATION** ... Protected |
| 16 | | **Sensor Select and Range Table** |

**Range Table**

| | Type | Factory set °C | Factory set °F | Sensor range (SR) °C | Sensor range (SR) °F |
|---|---|---|---|---|---|
| | T/C | | | | |
| 1 | J | 400 | 800 | 800 | 1470 |
| 2 | K | 400 | 800 | 1200 | 1999 |
| 3 | N | 400 | 800 | 1200 | 1999 |
| 4 | R | 1600 | 1999 | 1600 | 1999 |
| 5 | S | 1600 | 1999 | 1600 | 1999 |
| 6 | T | 250 | 500 | 250 | 500 |
| 7 | E | 500 | 1000 | 600 | 1100 |
| 8 | L | 400 | 800 | 800 | 1470 |
| 10 | B | 1600 | 1999 | 1800 | 1999 |
| | RTD | | | | |
| 9 | PT100 | 200 | 400 | 400 | 750 |

**Range minimum:** 0°C/32°F
Except T/PT100:
Factory set 0°C/32°F
Minimum available –200°C/°F

| | Linear process inputs | Display |
|---|---|---|
| 11 | 0 – 20mV | 0 – 100 |
| 12 | 4 – 20mV | 0 – 100 |
| 13 | 0 – 20mV | 0 – 1000 |
| 14 | 4 – 20mV | 0 – 1000 |
| 15 | 0 – 20mV | 0 – 2000 |

| | | |
|---|---|---|
| 17 | | **Negative temperature ranging** |
| | O | **Disabled** |
| | 1 | Enabled (range min –200°) |
| 18 | | **Display resolution** |
| | O | **Normal (1°)** |
| | 1 | Hi-res (0.1°) ±199.9° 1° settings become 0.1° Ranged 0 – 200° on selection of Hi-res. (reset with Fn 24) |
| 19 | | **SP2 Operating mode** Select and enter Function 19 **before** adjusting SP2 in Function 2 |
| | O | **OUT** |
| | 1 | Deviation alarm – High |
| | 2 | Deviation alarm – Low |
| | 3 | Deviation band alarm |
| | 4 | Full scale alarm – High |
| | 5 | Full scale alarm – Low |
| | 6 | LBA – Loop break alarm |
| | 7 | Cool strategy |
| 20 | | **SP1 Sensor break** |
| | O | **Upscale** |
| | 1 | Downscale |
| 21 | | **SP2 Sensor break** |
| | O | **Upscale** |
| | 1 | Downscale |
| 22 | | **°C/°F** (Note Change top fascia) |
| | O | °C } Factory set |
| | 1 | °F { not reset by Function 15 |
| 23 | | Software version number |
| 24 | | **Configured range (CR) adjustment** |
| | | 1° steps Mode B adjustment **see 4.2** (See Range Table in Function 16) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## INSTALLATION: IMPORTANT SAFETY INFORMATION PLEASE REVIEW

Designed for use: UL 873 - only in products where the acceptability is determined by Underwriters laboratories Inc.
EN61010-1-Within Installation Categories II and III environment and polution degree 2.
To avoid possible hazards accessible conductive parts of final installation should be protectively earthed in accordance with EN61010 for Class 1 equipment.
Output wiring should be within a grounded cabinet. Sensor sheaths should be bonded to ground or not be accessible.
Live parts should not be accessible without use of a tool.

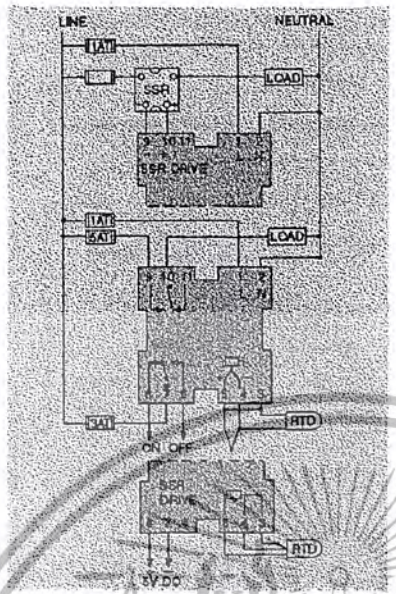
It is the responsibility of the installation engineer to ensure that this equipment's compliance to EN61010 is not impaired when fitted to the final installation and to use this equipment as specified in this manual, failure to do so may impair the protection provided. Follow wiring diagrams and regulations.

## INSTALLATION

### ELECTRICAL INSTALLATION

**CAUTION RISK OF ELECTRICAL SHOCK.**

1. Check controller label is the correct supply voltage for your application.
2. Connections are shown on the socket label.
3. For connection to socket use, 250 Faston receptacles provided in accessory kit.
4. Recommended wire size for mains voltage and outputs 32/0.2 1.0mm² (18 AWG 0.04"²) rated to 6 Amps/ 300V at 70°C.
5. For use with 2 wire RTD an external link is required between connections 3 and 5.
6. IMPORTANT. It is recommended that interference suppressors are fitted across relay contacts to prolong relay life.




Fuses: 250VAC rated, time lag type to IEC 127.

## 11 ERROR MESSAGES

APPLICATION FAULTS

| | | | |
|---|---|---|---|
| **EE1** | Sensor burnout | Check sensor | Self clearing |
| **EE2** | RTD/PT100 short | Check sensor | Self clearing |
| **EE3** | LBA Loop break | Check control loop | Latches: Reset |

AUTOTUNE AT/PT TUNING CYCLE FAULTS

Autotune run is aborted:
Previous values are retained

| | | |
|---|---|---|
| **EE5** | Outside time limit | Latches: Reset |
| **EE6** | O/shoot exceeds limit | Latches: Reset |
| **EE7** | Unable to run Autotune, SP1 in ON/OFF mode | Latches: Reset |

SOFTWARE FAULTS

| | | |
|---|---|---|
| **EE8** | Calibration data error | Replace unit if it persists |
| **EE9** | System error | Replace unit |

PRESS ▼▲ together to reset latched message

## WARRANTY

**CAL Controls warrant this product free of defects in workmanship and materials for three (3) years from date of purchase.**

1. Should the unit malfunction, return it to the factory. If defective it will be repaired or replaced at no charge
2. There are no user-serviceable parts in this unit. This warranty is void if the unit shows evidence of being tampered with or subjected to excessive heat, moisture, corrosion or other misuse
3. Components which wear, or damage with misuse, are excluded e.g. Relays, SSR
4. To comply with this warranty the installation and use must be by suitably qualified personnel
5. Neither CAL Controls Ltd or CAL Controls Inc shall be responsible for any damage or loss to other equipment howsoever caused, which may be experienced as a result of the installation or use of this product. CAL Controls liability for any breach of this agreement shall not exceed the purchase price paid

Designed by BDC Technical Services, Baldock, UK

## 12 9900 SPECIFICATION

**INPUTS**
**See 8 Function 16 for Range Table**
**Thermocouple - 9 types**

| | | | |
|---|---|---|---|
| J | Iron/Constantan | T | Copper/Con |
| K | Chromel/Alumel | R | Pt - 13% Rh/Pt |
| L | Fe/Konst | S | Pt - 10% Rh/Pt |
| N | NiCrSil/NiSil | B | Pt - 30% Rh/ Pt - 6% Rh |
| E | Chromel/Con | | |

Standards: IPTS 68/DIN 43710
Linearity: 5 - 95% sensor range **see 8**
J/K/L/N/E ±1°C, T ±2°C, B ±6°C>500°C
R/S 0-300°C ±5°C, 300-1600°C ±2°C
CJC Rejection: 20:1 (0.05°/°C) typical
External resistance: 100 Ω maximum

**Resistance thermometers**
RTD/PT100 2 wire (optional 3 wire)
DIN 43760 100 Ω 0°C/138.5 Ω 100°C Pt

**Linear process inputs: 0-20mV/4-20mV**
Linearity: ±1.5% impedance 100k Ω min

**Applicable to all inputs**
SR=sensor range, CR=configured range
Calibration accuracy: ±0.25% SR ±1°C
Sampling frequency: Input 3Hz, CJC 5sec
Common mode rejection: Negligible effect up to 140dB, 240V, 50-60Hz
Series mode rejection: 60dB, 50-60Hz
Temperature coefficient: 150ppm/°C SR
Reference conditions: 22°C ±2°C, 115/230V ±5%, after 30m settling time

**OUTPUTS**

**OUTPUT MODULE - Dual standard**
**Main output: SP1**

| | |
|---|---|
| Relay standard: | 5A/250Vac resistive SPDT/Form C |
| SSd-optional: | 5V/25mA non-isolated |

**Alarm/Cool channel output: SP2**

| | |
|---|---|
| Relay-standard: | 3A/250Vac resistive SPDT/Form C |
| SSd-optional: | 5V/25mA non-isolated |

**9900 Controller output module - types**

| SP1 output | SP2 | 115V code | 230V |
|---|---|---|---|
| Relay | Relay | 991.11C/F | 991.12C/F |
| Relay | SSd | 991.21C/F | 991.22C/F |
| SSd | Relay | 992.11C/F | 992.12C/F |
| SSd | SSd | 992.21C/F | 992.22C/F |
| Relay | - | 991.01C/F | 991.02C/F |
| SSd | - | 992.01C/F | 992.02C/F |

1. CONFIGURATION
   All functions are front key selectable, it is the responsibility of the installing engineer to ensure that the configuration is safe. Remove the function lock link to protect critical functions from tampering.
2. ULTIMATE SAFETY ALARMS
   Normal safety advice: Do not use SP2 as the sole alarm where personal injury or damage may be caused by equipment failure.

**10.2 MECHANICAL**

1. Prepare a 1/16 DIN panel cut out:
   45 x 45mm +0.6 -0
   1.77" x 1.77" +0.02 -0
2. Remove the socket, pressing in the lock buttons
3. Slide the controller into the cut out
4. Fit the mounting clip see fig. pressing it firmly against the panel, jacking screws optional
5. Plug on the socket
6. After installation remove and discard the protective front window label
7. Cleaning - If required wipe with damp cloth (water only)

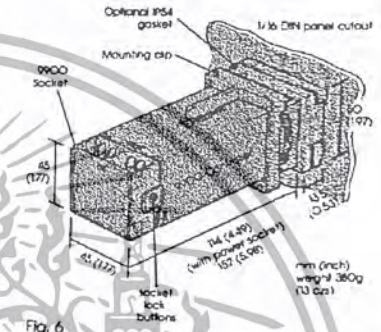



Fig. 6

**CONTROL CHARACTERISTICS**

| **SP1 PID Parameters** | **Field selectable** |
|---|---|
| Prop band/Gain | 0.5-100% CR |
| Prop cycle-time | 0.05-81s or ON/OFF |
| Integral time/Reset | 0.2-43m or OUT |
| Derivative time/Rate | 1.0-255s or OUT |
| DAC approach control | 0.5-9.0 x PB |
| (ON/OFF Hysteresis | 0.25-50%CR) |

**GENERAL**

| | |
|---|---|
| Supply Voltage: | 115V or 230V ±15% 50-60Hz 6VA (Link selectable) |
| Digital LED Display: | 3½ digit 10mm high. High brightness green. |
| Error indicator: | 3 step LED. |
| Output LEDs: | SP1 Green SP2 Amber. |
| Keypad: | 4 Elastomeric Buttons. |

**ENVIRONMENTAL**

| | |
|---|---|
| Humidity: | Max. 80% |
| Altitude: | Up to 2000M |
| Installation: | Categories II and III |
| Pollution: | Degree II |
| Safety: | UL873, CSA 22.2/142-87, EN61010 |
| Protection: | IP54 (with gasket) |
| EMC Emission: | EN50081-1 FCC Rules 15 Sub-part J Class A |
| EMC Immunity: | EN50082-1, RF Field ±2% FS |
| Ambient: | 0.50°C (32-130°F) |
| Mouldings: | Flame Retardent Polycarbonate |


**CAL Controls Ltd**
Bury Mead Road, Hitchin, Herts, SG5 1RT, UK
Tel: +44 (0) 1462-436161 Fax: +44 (0) 1462-451801

**CAL Controls Inc**
1580 S.Milwaukee Avenue, Libertyville, IL 60048
Tel: (847) 680-7080 Fax: (847) 816-6852



CAL Controls policy of continuous development may cause detail changes to the enclosed information. E & OE



401 1296



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 13 IMPORTANT ADVANCED FUNCTIONS SECURITY

The advanced functions are intended for OEM's and process engineers. Access is therefore protected in the Function table

To prevent unauthorised use of these functions read-only protection from the manual select switch is recommended

### 13.1 HIDDEN ACCESS TO ADVANCED FUNCTIONS

Step 1

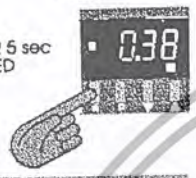
PRESS P TO ENTER PROGRAM MODE

Step 2

PRESS ▼ TO GO DIRECTLY TO FUNCTION 13

Step 3

PRESS & HOLD ✱ FOR 5 sec TO ACCESS ADVANCED FUNCTIONS (Entry point Fn 38)




### 13.2 ADVANCED FUNCTIONS - Protected

| Fn No. | Opt No. | Parameter |
|---|---|---|

**26 SP1 Heat Power limit**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0 | 100% max output | 8 | 60% |
| 1 | 95% | 9 | 55% |
| 2 | 90% | 10 | 50% |
| 3 | 85% | 11 | 45% |
| 4 | 80% | 12 | 40% |
| 5 | 75% | 13 | 30% |
| 6 | 70% | 14 | 20% |
| 7 | 65% | 15 | 10% |

Not in SP1 ON/OFF mode

**27 SP2 Cool limit**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0 | 100% max output | 4 | 40% |
| 1 | 80% | 5 | 30% |
| 2 | 60% | 6 | 20% |
| 3 | 50% | 7 | 10% |

Not in SP2 ON/OFF mode

**Direct/Reverse mode selection**

| | | Normal | OFF when logically ON |
|---|---|---|---|
| 28 | SP1 Output | 0 | 1 |
| 29 | SP1 LED | 0 | 1 |
| 30 | SP2 Output | 0 | 1 |
| 31 | SP2 LED | 0 | 1 |

**32 Error Indicator resolution**

0 **Normal** (2% range/segment)
1 High (1%)
2 Low (4%)

**33 Temperature display sensitivity**

0 **Normal**
1 High
2 Low

**34 Derivative polling ratio**

0 **0.5** x derivative time
1 0.2
2 0.7
3 1.0

**35 Sensor span adjust**

1% steps (+15° /-16° max)

**Note 'Hidden' Fn 15/Opt 5 resets ALL functions, except Fn 22**

**36 SP2 Latch alarms**

0 **Normal**
1 Latch

Only for: SP2 ON/OFF mode, Fn 19/Opt 1-5

PRESS ▼▲ together to reset (in non alarm condition)

**37 Spare**

**DIAGNOSTICS**

Read only Functions 39-49 Mode B display **see 4.2**

**PERFORMANCE MONITOR (PM)**

**38 Start monitor** (Entry point from Fn 13)

0 **OFF**
1 Start

Readings are reset on subsequent monitor start or de-powering

**39** Read temperature variance (0.1°)

**40** Read maximum temperature (°C/°F)

**41** Read minimum temperature (°C/°F)

**42** Read Duty Cycle Monitor (DCM) % heat (SP1 % ON time)

**AUTOTUNE TUNING DATA** Fig. 8

**Overshoot/Undershoot (°C/°F)**
Max 255° /Hi-res 25.5°

| | | | |
|---|---|---|---|
| 43 | OS1 | 45 | US |
| 44 | OS2 | | |

**Quarter cycle times (sec)**
Min 2 sec/max 1800 sec (30 min)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 46 | QCT1 | 48 | QCT3 |
| 47 | QCT2 | 49 | QCT4 |

**50** Spare PRESS ▲ to Fn 0

### 13.3 DIAGNOSTICS Functions 36 - 49

To assist with machine development, commissioning and trouble shooting

**PERFORMANCE MONITOR (PM)**

Monitors and displays minimum and maximum temperatures, and variance (deviation) to 0.1°C/°F. Displayed temperatures are measured values, independant of set point. This high sensitivity monitor may be affected by interference. (Fit snubber to minimise disturbance)

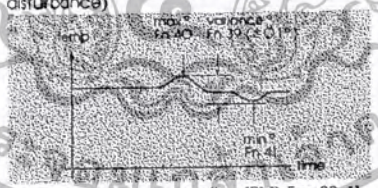



Fig. 7 Performance monitor (PM) Fns 38-41

**DUTY CYCLE MONITOR (DCM)**

Monitors percentage power used in the previous proportioning cycle. Average several readings for a more accurate result. Power requirements outside the range 20% - 80% may be difficult to control and autotune

**AUTOTUNE TUNING DATA (Fns 43-49)**

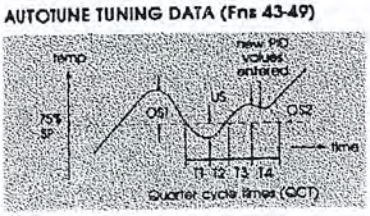



Fig. 8

### 13.4 MONITOR OPERATION (PM/DCM)

| Step | | Select |
|---|---|---|
| 1 | To start monotor: | Fn 38/Opt 1 |
| 2 | To return to normal operation | PRESS P |
| 3 | To view readings (PM/DCM) | Fns 39-42 |
| 4 | To stop monitor: (Readings are retained) | Fn 38/Opt 0 |
| 5 | **Reset** Readings reset on next monitor start. Monitor and readings reset | Fn 38/Opt 1 On de-powering |

## 14 PROGRAM SECURITY LOCK

To be made by qualified technicain. De-power controller before proceeding using a screw driver at side of bezel remove lower fascia containing push buttons. All functions except user settings - Functions 1-3 can be protected against tampering. To protect function settings change the plastic link from unlocked to locked position.

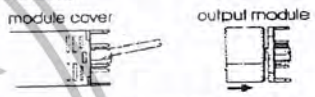
[• •] • LOCKED (or remove link)

• [• •] UNLOCKED

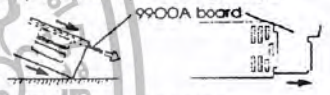
## 15 INTERNAL LINK CHANGES

These operational modifications should be made by a qualified technician before installation.

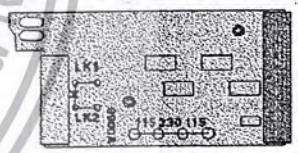
To remove the 9900A board:
1. First removethe output module, carefully lever the retaining clips from the slots in the module cover with a small screwdriver.




2. Tap module cover on table top, as shown, to release the 9900A board. Carefully remove board, avoid damaging components on protruding tongue




15.1 **To convert to 3 wire RTD/PT100** (inhibits thermocouple operation) Carefully cut pad at X avoid damage to R3. Fit solder links LK1, LK2 using 22SWG wire.




15.2 **Supply Voltage Conversion** (Plug in links) IMPORTANT - check your installation operating voltage before proceeding. Wrongful conversion could damage this unit.
For 115 Volt ±15% operation fit two links (spare link in accessories bag) in positions **115** and **115**. For 230 Volt ±15% operation fit one link in position **230**.

16

| 9900 FUNCTION/OPTION RECORD | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Customer Ref: | | | | | |
| 9900 | model | serial no. | | | |
| Function Number | Option Set date: | | | | |
| | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## COOL STRATEGY FOR HEAT–COOL APPLICATIONS

**Cool strategy:** A change in load causes movement of the linked heat and cool prop bands

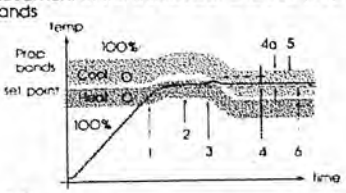



Fig. 9

1. Integral causes linked prop bands to move up
2. Stabilises e.g. 30% heat
3. Exothermic load change causes integral to move prop bands down minimising disturbance
4. Minimum offset achieved (4a = offset without cool strategy integral action)
5. Stabilises e.g. 50% cool
6. Consistent dead band throughout

## SETTING UP ROUTINE FOR–HEAT COOL (Single zone procedure)

**Step**

1. **Run Autotune AT:** (Set normal operating temp) Accept AT proportional cycle time **Fn 4/Opt 15**
   Note SP1/SP2 cycle times must be compatible with switching devices used (SP2 cool output is OFF at this stage)
2. **When temperature stable at set point:**
   - Select **cool** strategy **Fn 19/Opt 7**
   - Select **cool** prop band option value from table nearest to Heat prop band value (view Fn 5) **Fn 11**
   - Select **cool** cycle time option value nearest to Heat cycle time value (view Fn 4) **Fn 10**
   - Adjust SP2 dead band to 0° (Factory set 5°) **Fn 2**
3. **Run with normal background/ exothermic thermal conditions,** good results should be achieved and provide the basis for fine tuning
4. **Further adjustments:** e.g. Water cooling. Should oscillation occur try (in order):
   - Double **cool** prop band value and reduce integral time value **Fn 11** **Fn 8**
   - Halve **cool** cycle time **Fn 10**
   - Introduce **cool** overlap **Fn 2/(–)ve**
5. **Non-linear cooling**
   For water cooling above 100°C where flash to steam occurs. Select non-linear ranges in **cool** cycle time **Fn 10/Opt 13-15**
6. **Fine tuning**
   If **overshoot** (into cool) or **undershoot** (into heat) occurs, slowly make the following adjustments, observing the results:
   - Increase **cool** overlap **Fn 2/(–)ve**
   - Apply SP2 **cool** limit, progressively **Fn 27/Opt 1**
     If needed: SP1 heat limit **Fn 26/Opt 1**
7. **Contact CAL for more application advice and data if required**

## 18 NOTES ON OTHER FUNCTIONS

**Function Item**

**Fn 0 Park mode** (Opt 3)
Temporarily turns outputs off

Display: ▲ ▦ and Process temperature ▼

Useful in commissioning and trouble shooting, e.g. Multizone applications

**Manual heat %** (Opt 4-100)
If sensor break occurs (EE1/2) SP1 output (heater power) may be manually controlled 4-100%
(Not in ON/OFF mode)

Display: ▲ ▦ XXH (XX = % output) ▼

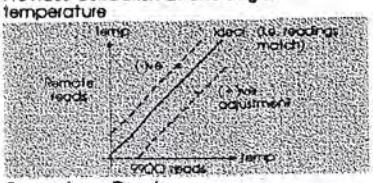
**Fn 3 SP1 Set point lock**
Stops unauthorised adjustment

**Fn 5 Retransmission:**
With 100% prop band, accuracy ±5% configuration range using linear input/output

## 19 RECALIBRATING TO A REMOTE STANDARD

To enable the 9900 calibration to match an external meter, data logger etc. (i.e. **'Remote'** reading)

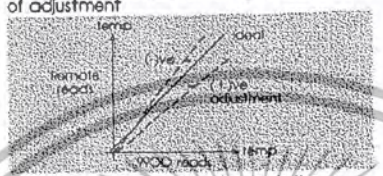
**SENSOR ERROR CORRECTION: Fn 9**
Provides correction at one single temperature




| Example | Reads |
|---|---|
| 9900 | 404° |
| 'Remote' | 400° |
| Error | +4° Set (-4) correction at Fn 9 |

Note Error polarity applies to 9900 correction

**Sensor span adjust: Fn 35**
Provides correction where two temperatures require differing amounts of adjustment




1. Choose a temperature towards the bottom of the normal operating range and one at the top
2. Run at the lower temperature **T1**, note the error **E1** between 9900 and 'Remote' reading
3. Repeat at upper temperature **T2** and note error **E2**

| Example | T1 reads | T2 reads |
|---|---|---|
| 9900 | 60° | 200° |
| 'Remote' | 58° | 205° |
| Error E1 = | +2° | E2 = −5° |

4. **Calculation of span adjustment for Fn 35**

$$\text{Formula: Fn 35} = \frac{E2 - E1}{T2 - T1} \times \text{CR (as Fn 24)}$$

$$\text{Example: Fn 35} = \frac{(-5°) - (+2°)}{200° - 60°} \times 250° \quad \text{(Fn 24 CR)}$$

$$= \frac{-3}{140} \times 250$$

Fn 35 = −5° Set (−5°) in Fn 35

5. A span error entered in Fn 35 immediately changes the reading, allow time to stabilise at T2 if an error exists correct with Fn 9. Then check at T1, if an error exists check readings and calculations; repeat if necessary

**Fn 16 Linear process inputs**
Optional 9900-PIM Process interface module (Data from CAL)
This remote module provides greater versatility when using the 9900 with linear inputs

**Fn 17 Negative temperature ranging**
Enables type T/RTD–PT100 to be used below 0°C/32°F
Note Increased range to -200°C/F, may effect PID values

**Fn 18 Display resolution**
Note Effect on set point and other values set in °C/°F e.g. 100.0° in hi-res = 1000° in normal

**Fn 26 SP1 Heat power limit**
Limits maximum heater power during warm up. Useful if heaters oversized

**Fn 27 SP2 Cool power limit**
Limits maximum cooling power outside prop band in heat-cool

## 20 PID TUNING NOTES

1. **Proportional cycle time: Fns 4/10**
   Determines the cycle rate of the output device

| Output device | Recommended time |
|---|---|
| 9900 internal relays | 10 sec minimum (5 sec with derated contacts & snubber) |
| SSR | 1 sec |
| Linear output (mA/Vdc) | 0.05 sec |

**Ideal** **Too long** (oscillates)

2. **Proportional band/Gain: Fn 5/11**
   Smooths out oscillation occuring in ON/OFF control

**Too narrow** (oscillates) **Too wide** (slow warm up and response)

3. **Integral time/Reset: Fn 8**
   Automatically corrects offset errors caused by proportional control

**Too short** (overshoots and oscillates) **Too long** (slow warm up and response)

4. **Derivative time/Rate: Fn 6**
   Suppresses overshoot and speeds response to disturbances

**Too long** (oscillates and over corrects) **Too short** (slow warm up and response under corrects)

5. **DAC approach control: Fn 7**
   Tunes warm up characteristics independant of normal operating conditions. Controls when derivative action starts on warm up, (smaller setting = closer to set point) Useful when sensor very remote from heater

**Too small** (overshoot) **Too large** (slow stepped warm up)

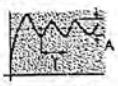
## 21 PID MANUAL TUNING GUIDE

For unusual applications producing error messages (EE5/6) on Autotune AT/PT

1. **Initial settings:**
   Fn 5/Opt 0
   (or Reset funtions: Fn 15/Opt 1)
   Fn 4/Opt 7 (ON/OFF Mode)
   Normal operating set point
   (Then allow process to stabilise)
2. **Take several readings of:**

   Amplitude **A**

   Time period **T**



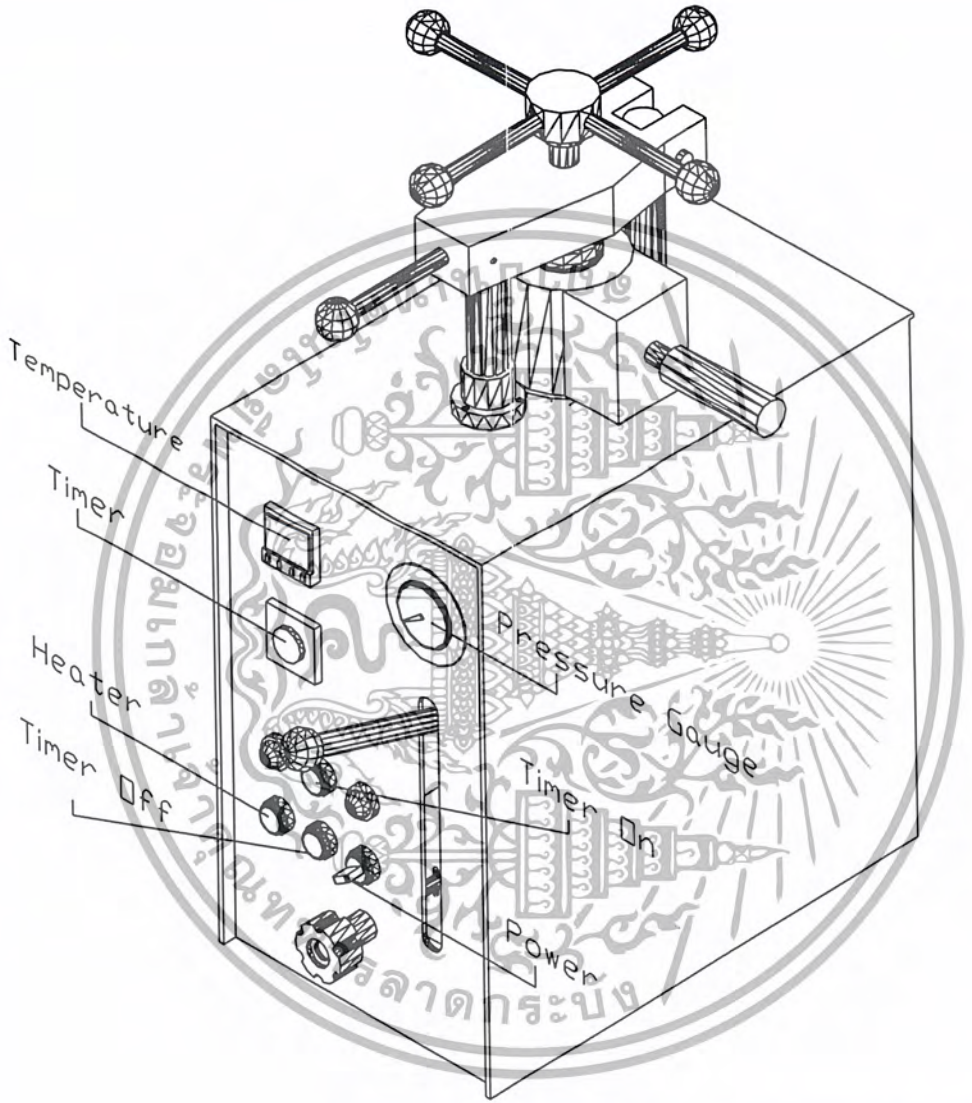

   (Diagnostics Fns 38/39 may help)
3. **Set PID values:** **Set opt value**

| | | |
|---|---|---|
| **Fn 4** Prop cycle time (Ensure compatible with output device) | $\frac{T}{20}$ sec | Nearest |
| **Fn 5** Prop band/Gain | $\frac{A \times 1.5 \times 100\%}{\text{config range}}$ | Next larger |
| **Fn 6** Derivative time/Rate | $\frac{T}{10}$ sec | Next shorter |
| **Fn 8** Integral time/Reset | $\frac{T}{60}$ min | Next longer |
| **Fn 7** DAC Approach control | 1.5 factory set | see 20.5 |

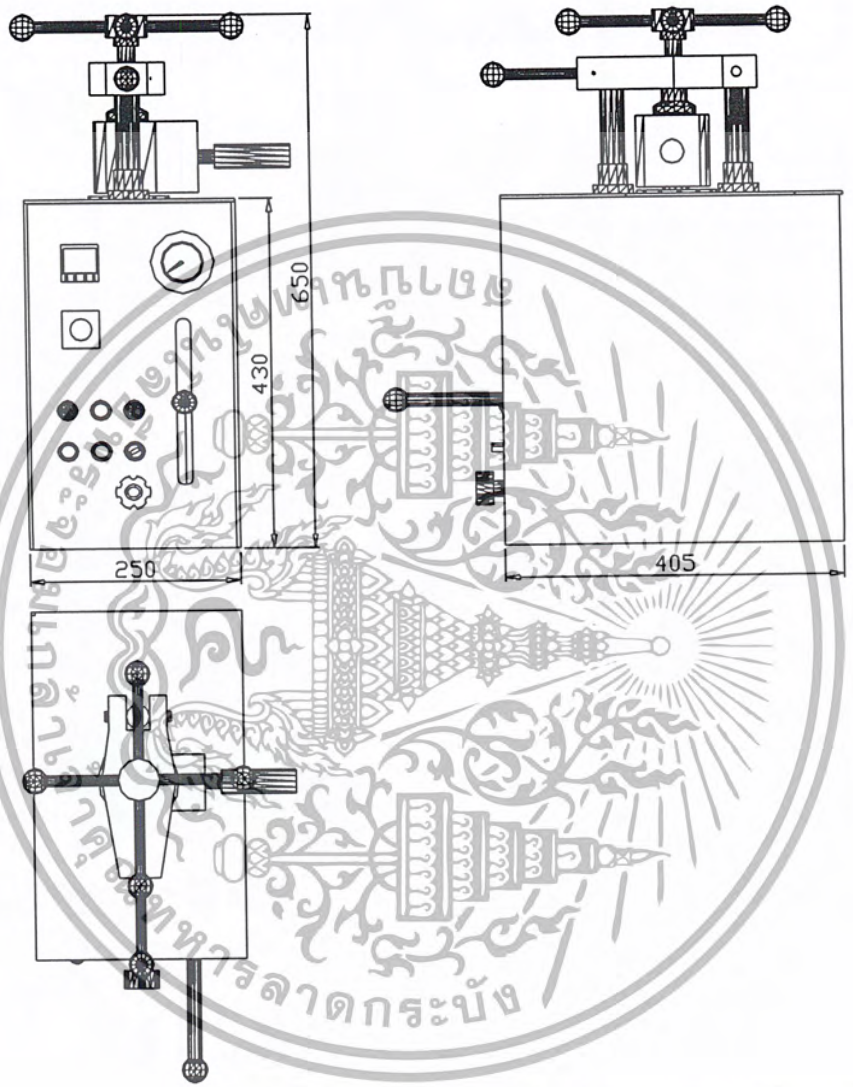
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข
# แบบทางวิศวกรรมเครื่องอัดยึดชิ้นงานตัวอย่างด้วยพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

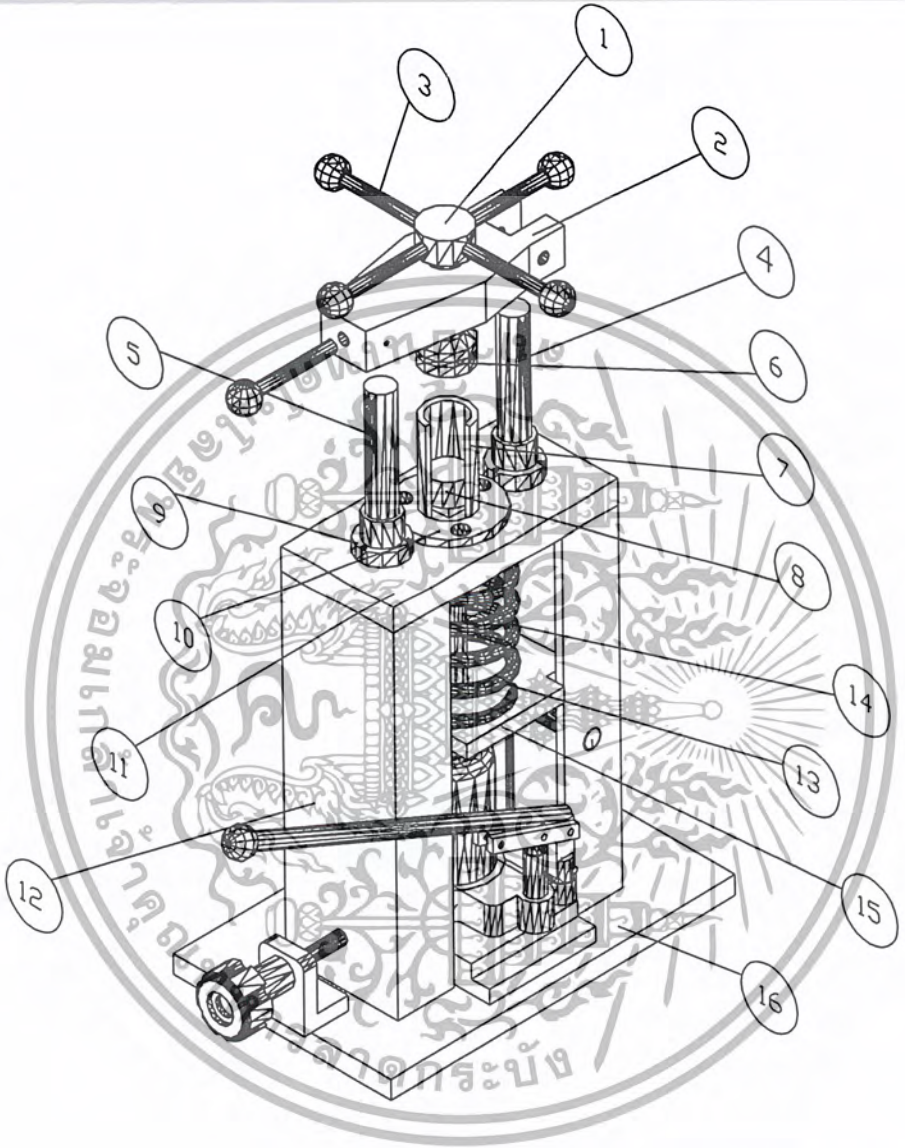



| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:6 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| | MOUNTING PRESS | | Drawing No. 001 |

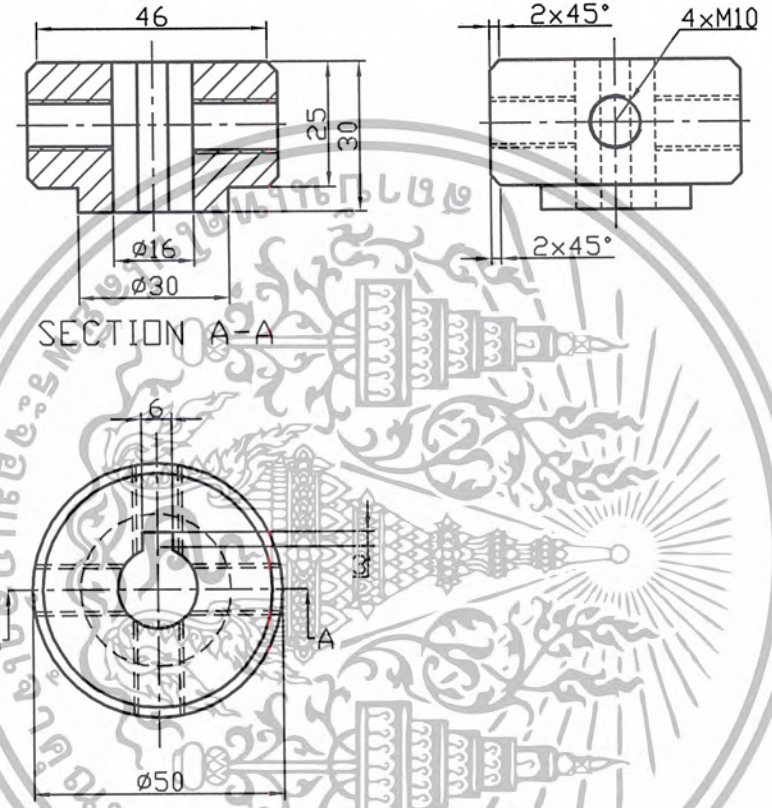



| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |
|---|---|---|---|---|---|
| Scale 1:9 | Drawn WASIN | | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang | | |
| | Checked PHOLCHAI | | | | |
| | Date | | | | |
| | MOUNTING PRESS | | | | Drawing No. 001 |

ห้องสมุดกลาง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



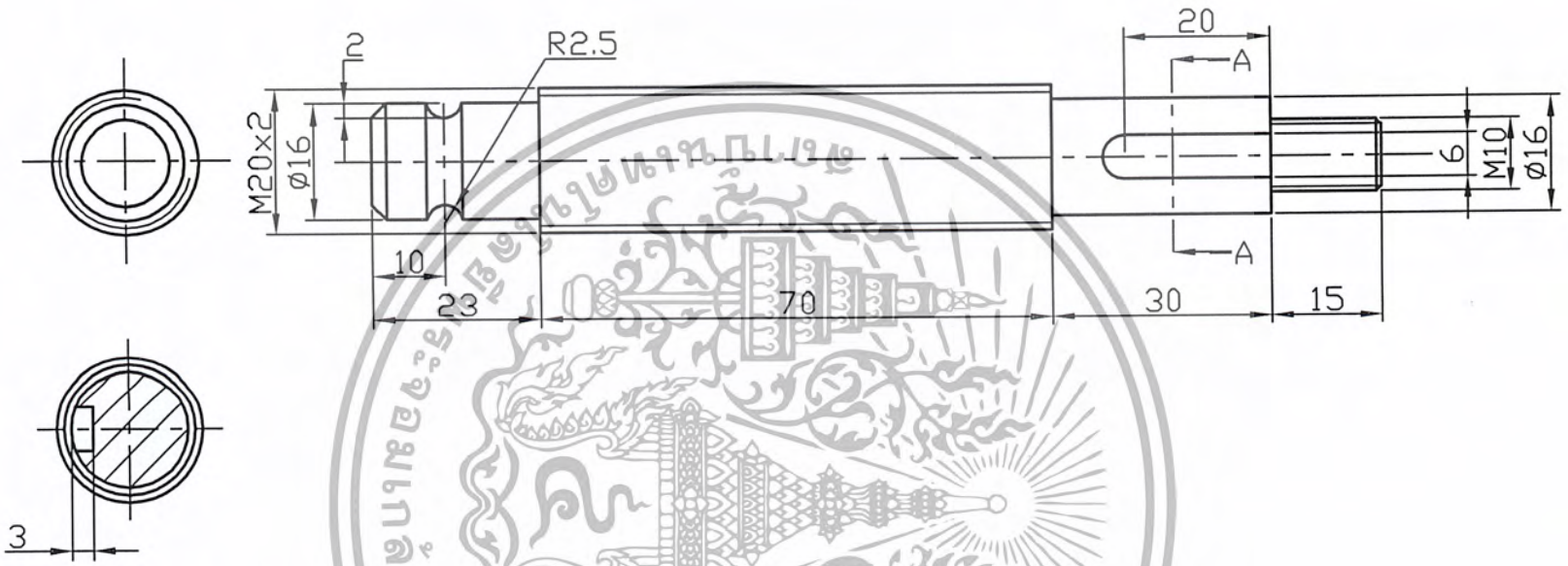

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:6 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| | MOUNTING PRESS | | Drawing No. 001 |




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 01 | Lock Nut | ø55x35 | AISI 1045 | 1 | 001-01 |
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1.5 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| | MOUNTING PRESS | | Drawing No. 001 |

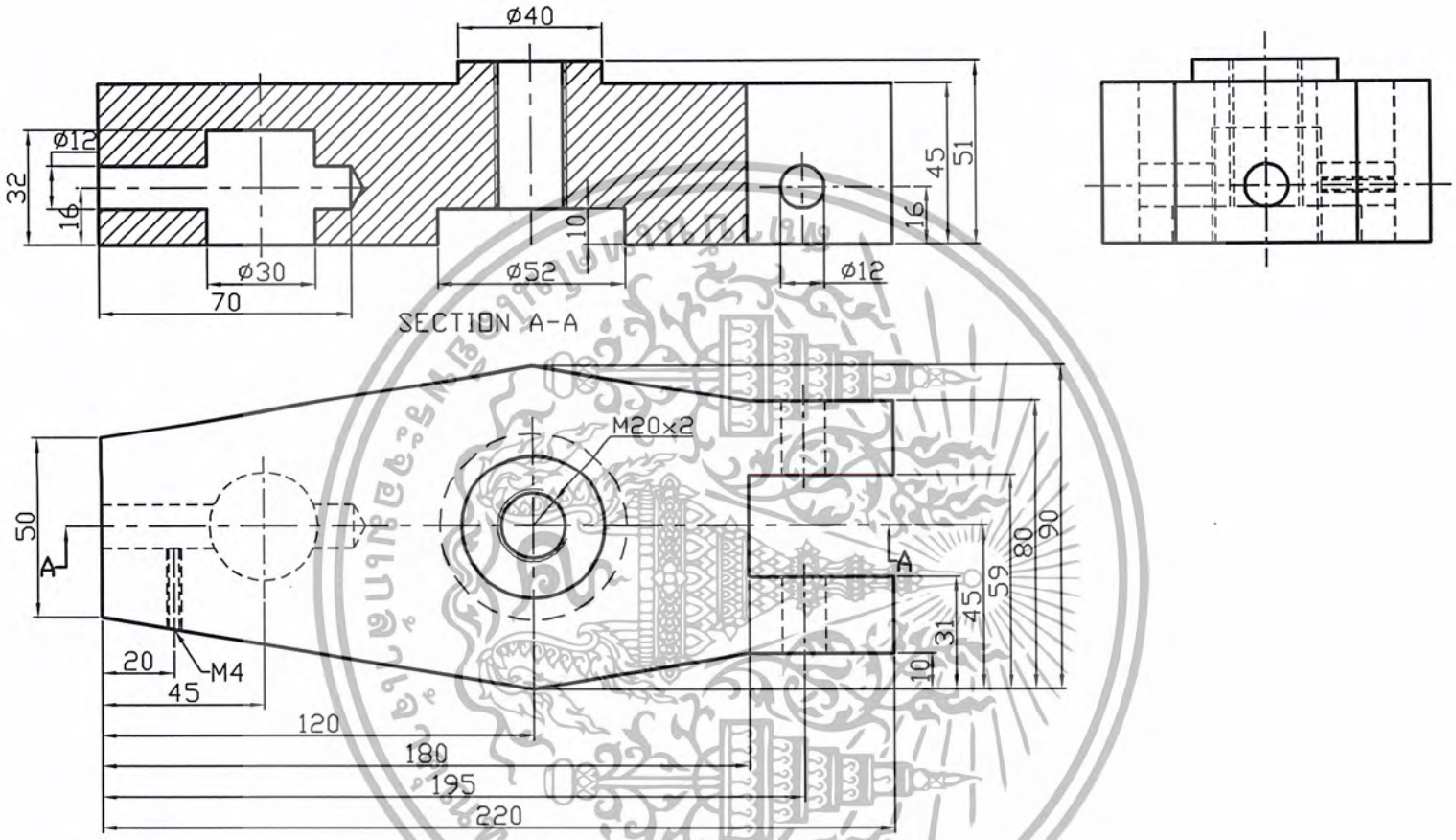
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การใช้งานในรูปแบบอื่นใดที่อาจเข้าข่ายการละเมิดลิขสิทธิ์ ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของลิขสิทธิ์เท่านั้น




SECTION A-A

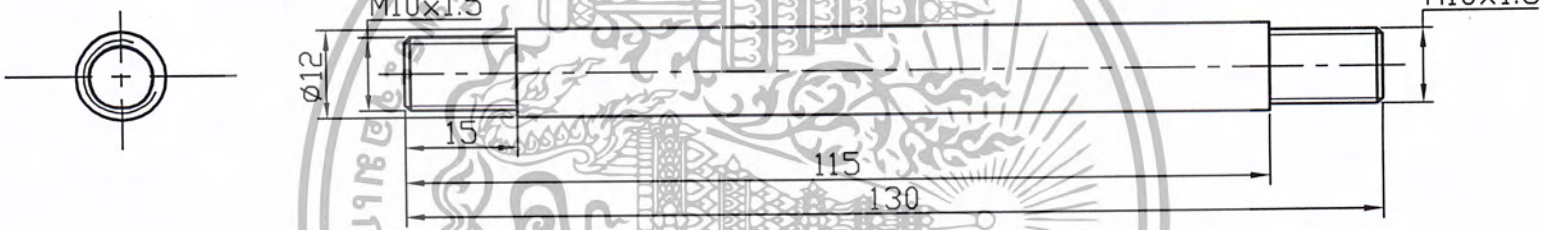
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 01 | Screw | Ø25x143 | AISI 304 | 1 | 001-01 |
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| | MOUNTING PRESS | | Drawing No. 001 |




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 02 | Cap Lock | 95x225x56 | AISI 1045 | 1 | 001-02 |
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

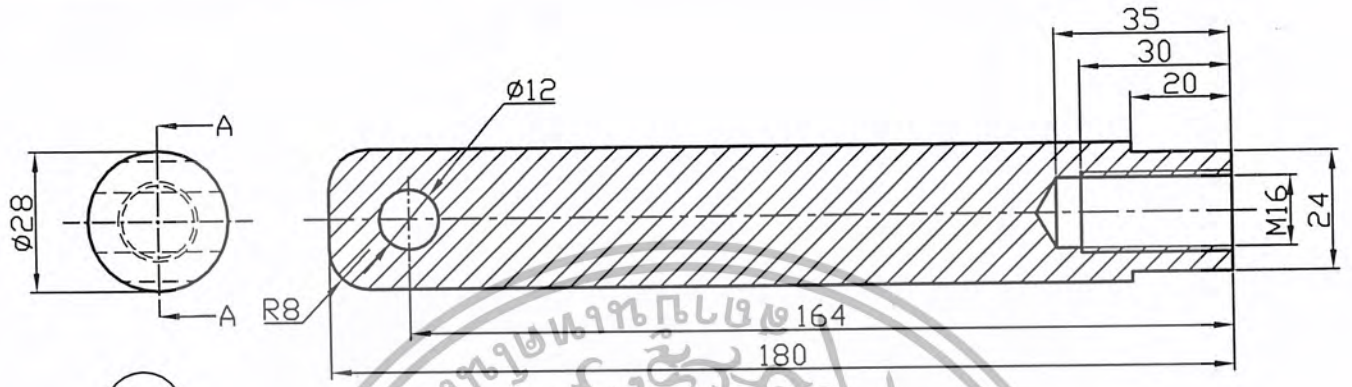
| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:2 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| MOUNTING PRESS | | | Drawing No. 001 |




| 03 | Arm | ø12x135 | AISI 304 | 4 | 001-03 |
|---|---|---|---|---|---|
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

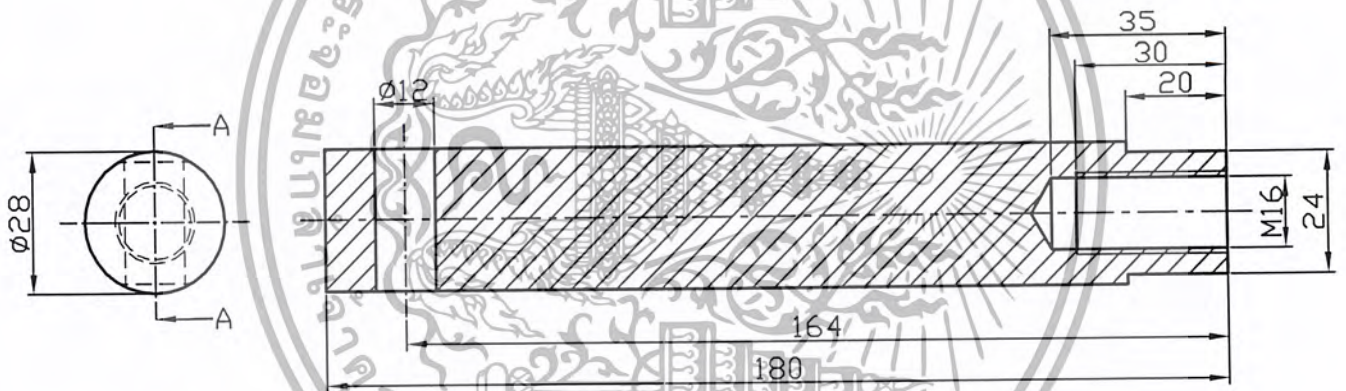
| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| MOUNTING PRESS | | | Drawing No. 001 |

ห้องสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง




05

SECTION A-A

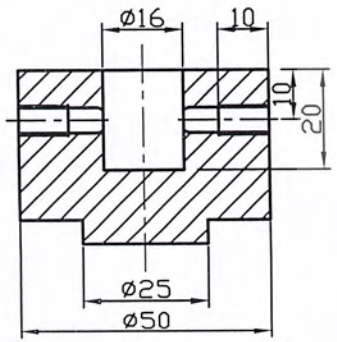



04

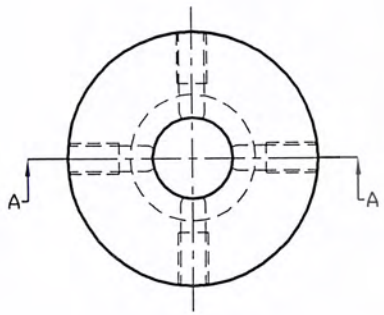
SECTION A-A

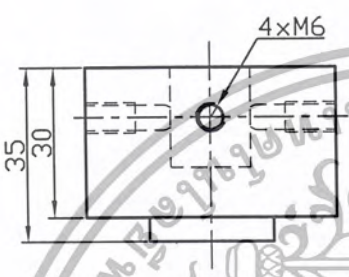
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |
|---|---|---|---|---|---|
| 05 | Column | ø32x185 | AISI 1045 | 1 | 001-05 |
| 04 | Column | ø32x185 | AISI 1045 | 1 | 001-04 |

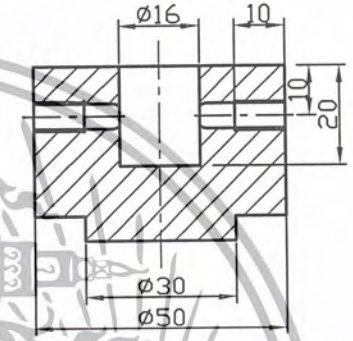
| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1.5 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| MOUNTING PRESS | | | Drawing No. 001 |



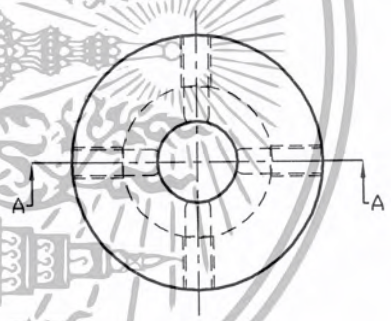

SECTION A-A

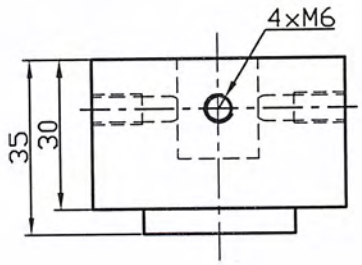


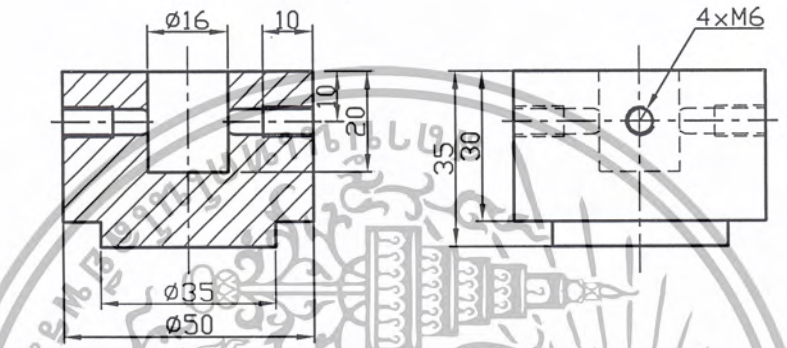

SECTION A-A



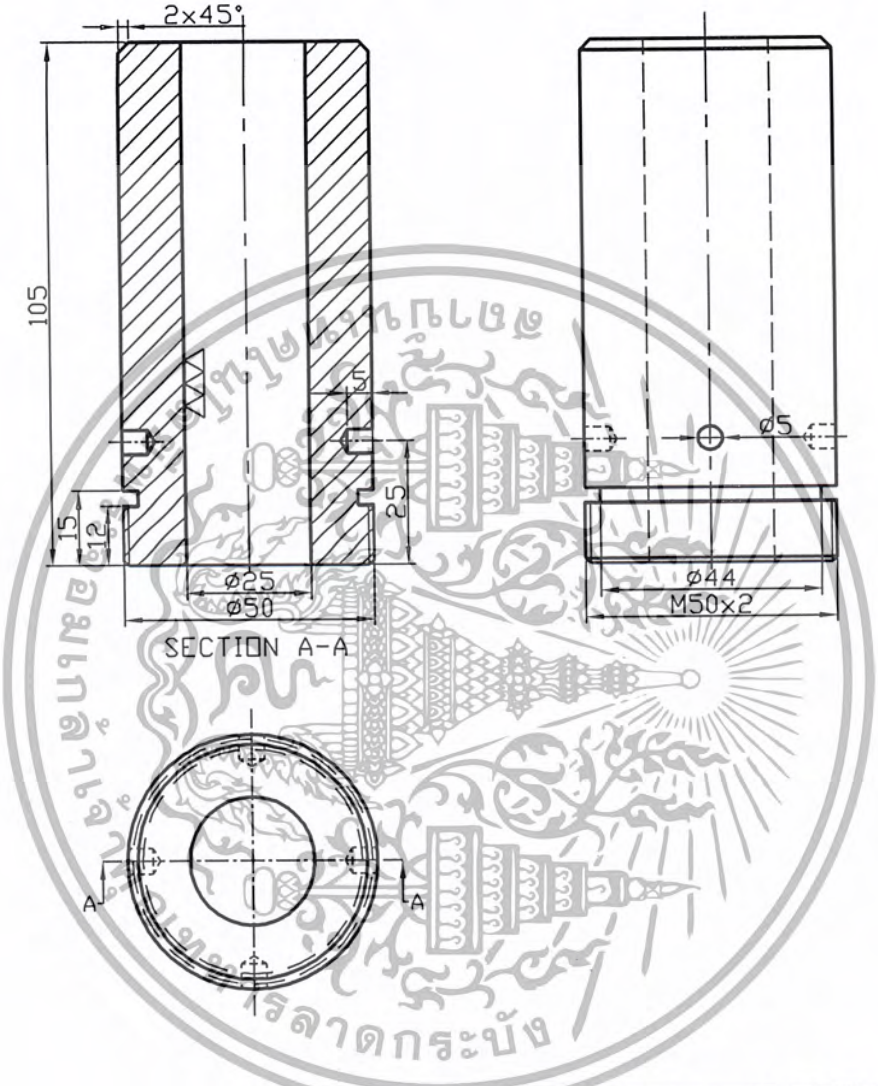

| 06 | Mold Cap ø25, ø30 | ø55x40 | AISI 304 | 1 | |
|---|---|---|---|---|---|
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |
| Scale 1:1.5 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang | | |
| | Checked | PHOLCHAI | | | |
| | Date | | | | |
| | MOUNTING PRESS | | | Drawing No. 001 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ หรือนำไปเผยแพร่ต่อสาธารณชน ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น



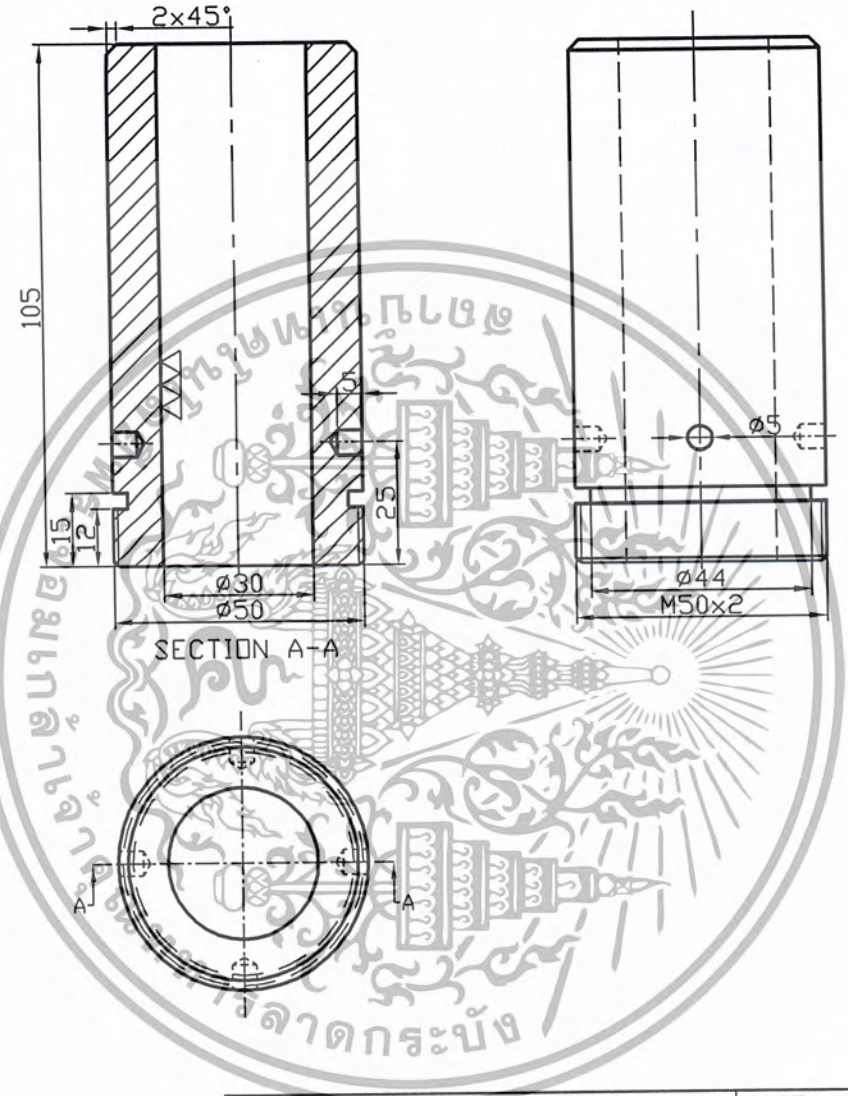

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 06 | Mold Cap ø35 | ø55x40 | AISI 304 | 1 | 001-06 |
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1.5 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| MOUNTING PRESS | | | Drawing No. 001 |



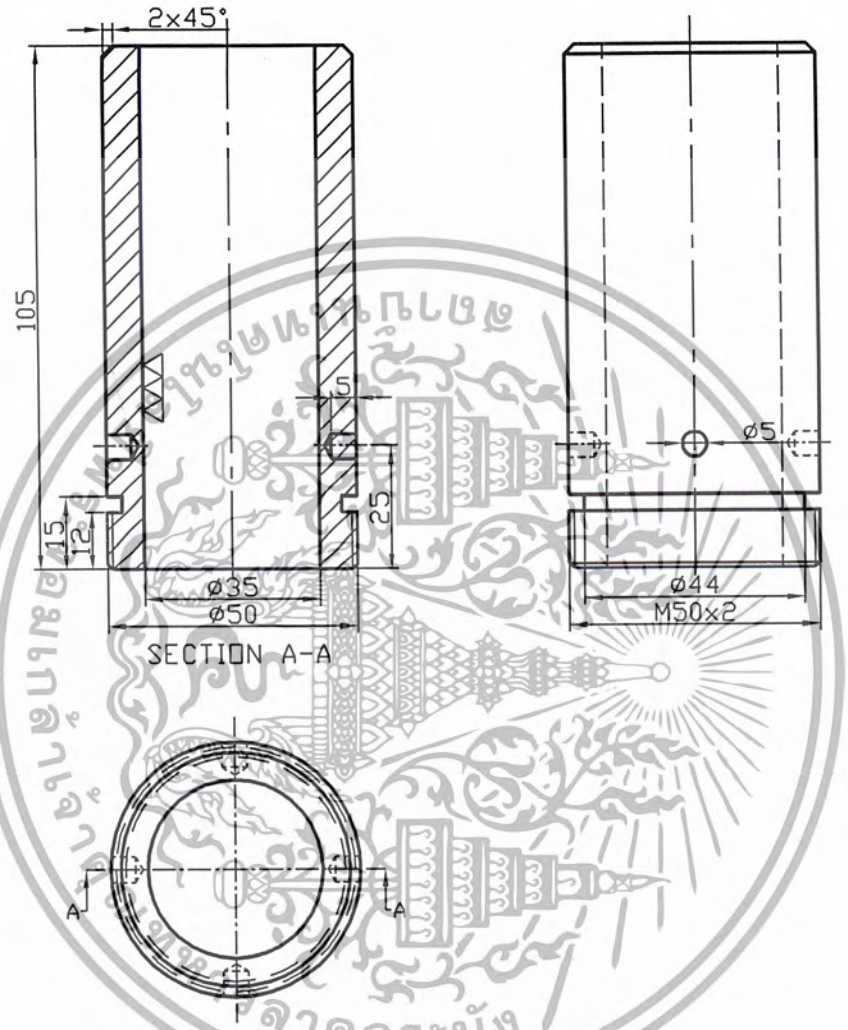

| 07 | Mold Cylinder ø25 | ø55x110 | AISI H 13 | 1 | 001-07 |
|---|---|---|---|---|---|
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1.5 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| | MOUNTING PRESS | | Drawing No. 001 |



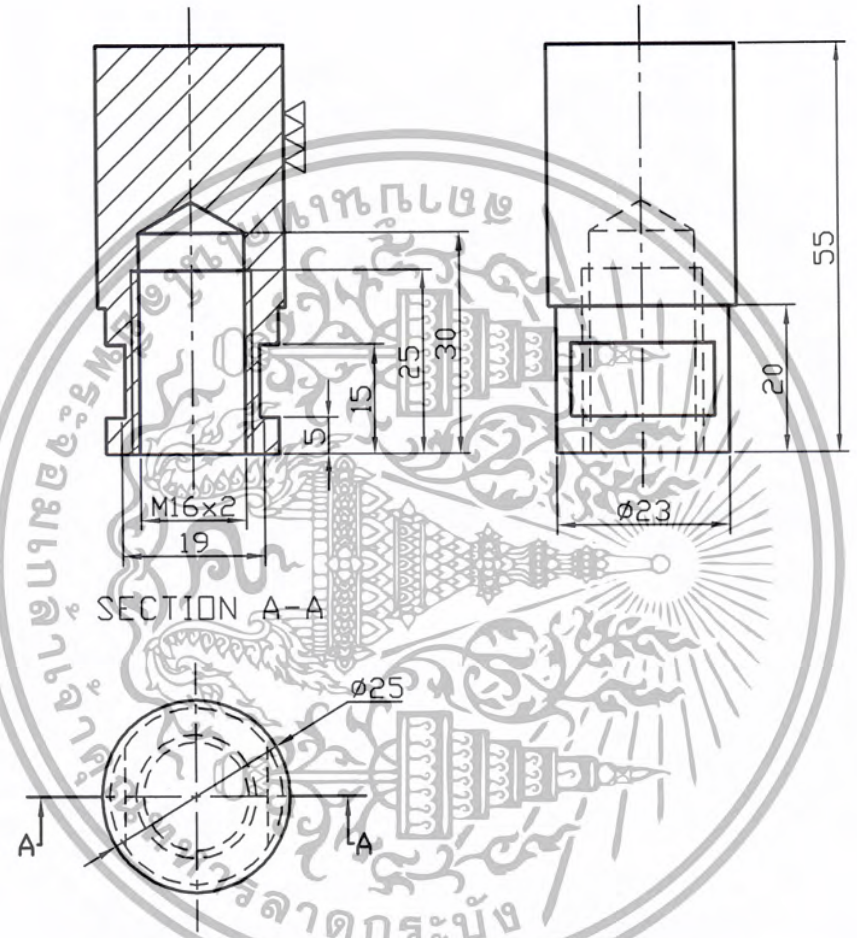

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 07 | Mold Cylinder ø30 | ø55x110 | AISI H 13 | 1 | 001-07 |
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1.5 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| | MOUNTING PRESS | | Drawing No. 001 |




| 07 | Mold Cylinder ø35 | ø55x110 | AISI H 13 | 1 | 001-07 |
|---|---|---|---|---|---|
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

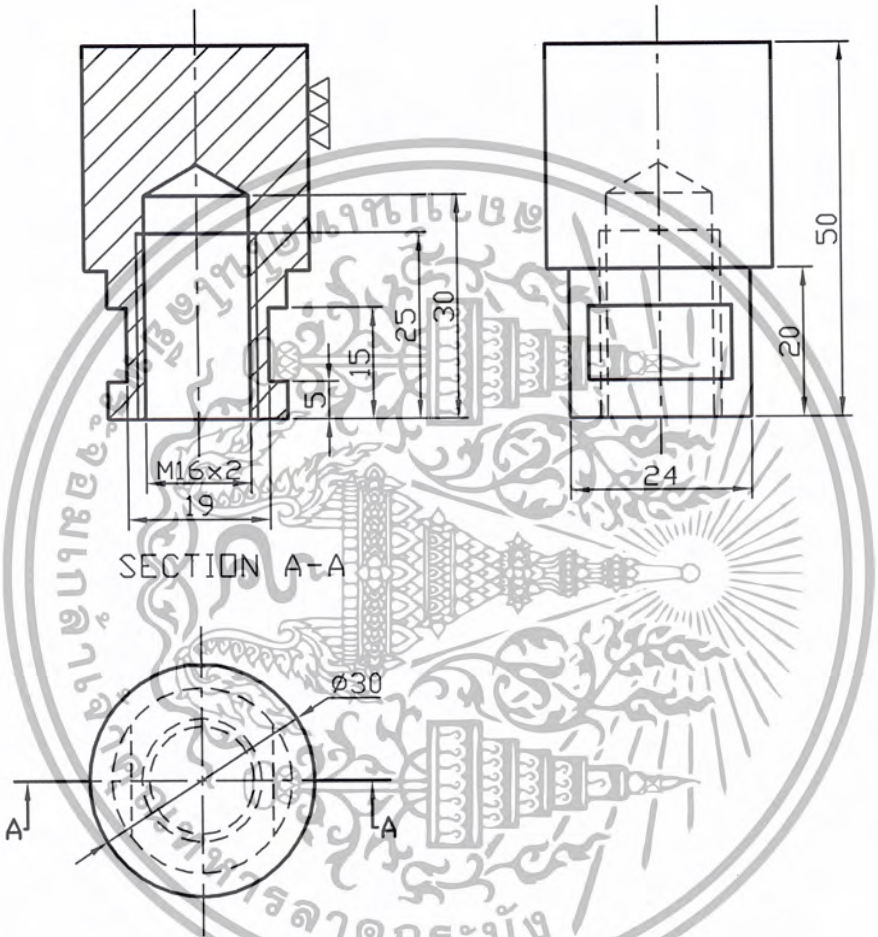
| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1.5 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| MOUNTING PRESS | | | Drawing No. 001 |




| 08 | Mold Base | ø30x60 | AISI H 13 | 1 | 001-08 |
|---|---|---|---|---|---|
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| MOUNTING PRESS | | | Drawing No. 001 |

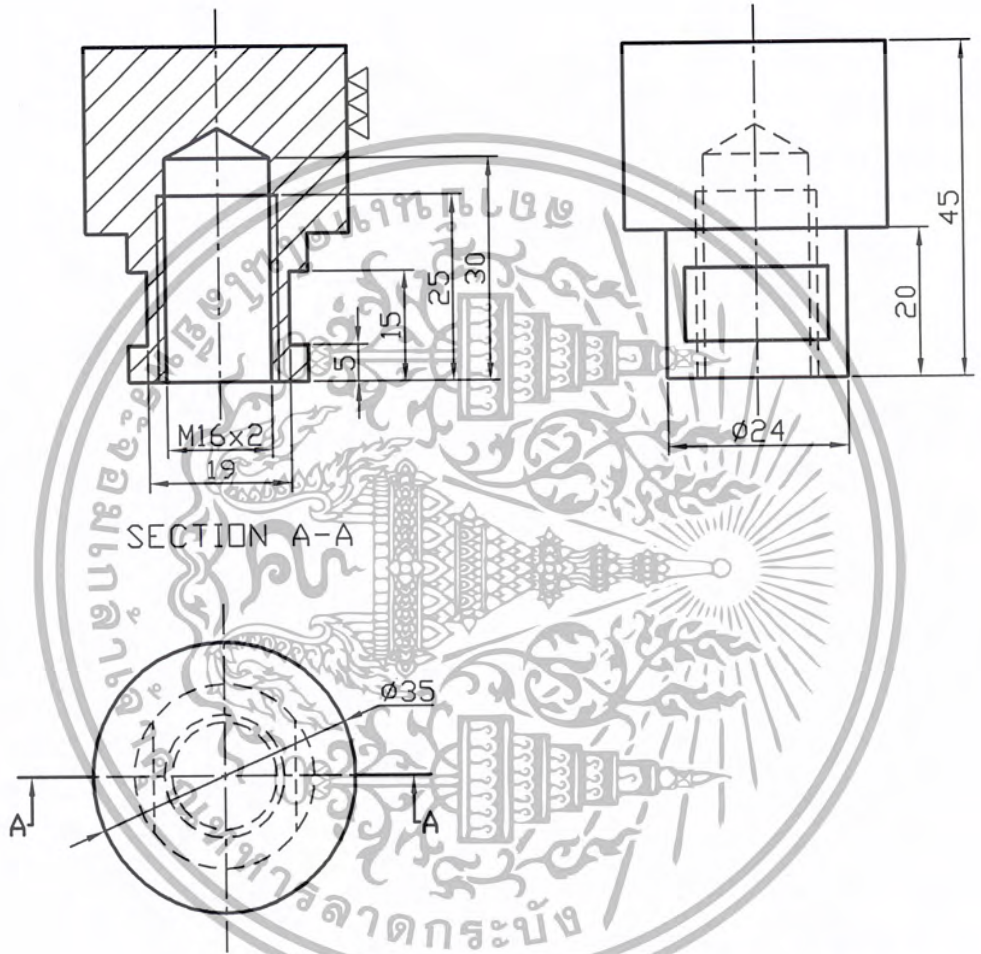
ลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง




| 08 | Mold Base | ø35x55 | AISI H 13 | 1 | 001-08 |
|---|---|---|---|---|---|
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

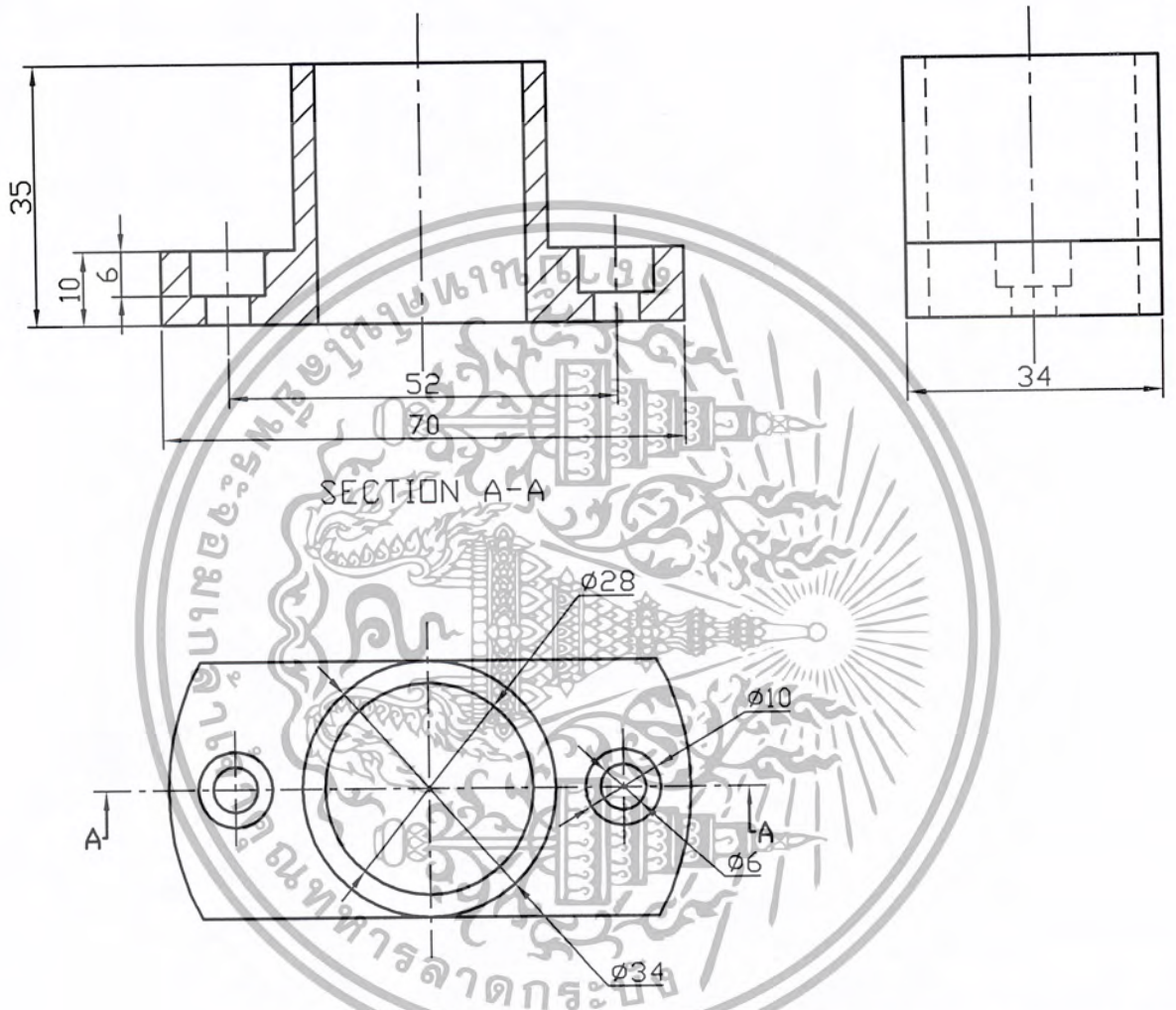
| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| MOUNTING PRESS | | | Drawing No. 001 |

ห้องสมุดวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตลาดกระบัง



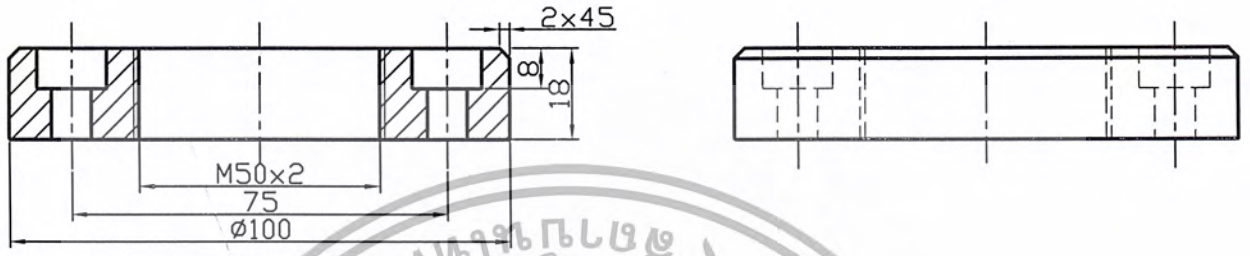

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 08 | Mold Base | ø40x50 | AISI H 13 | 1 | 001-08 |
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| | MOUNTING PRESS | | Drawing No. 001 |

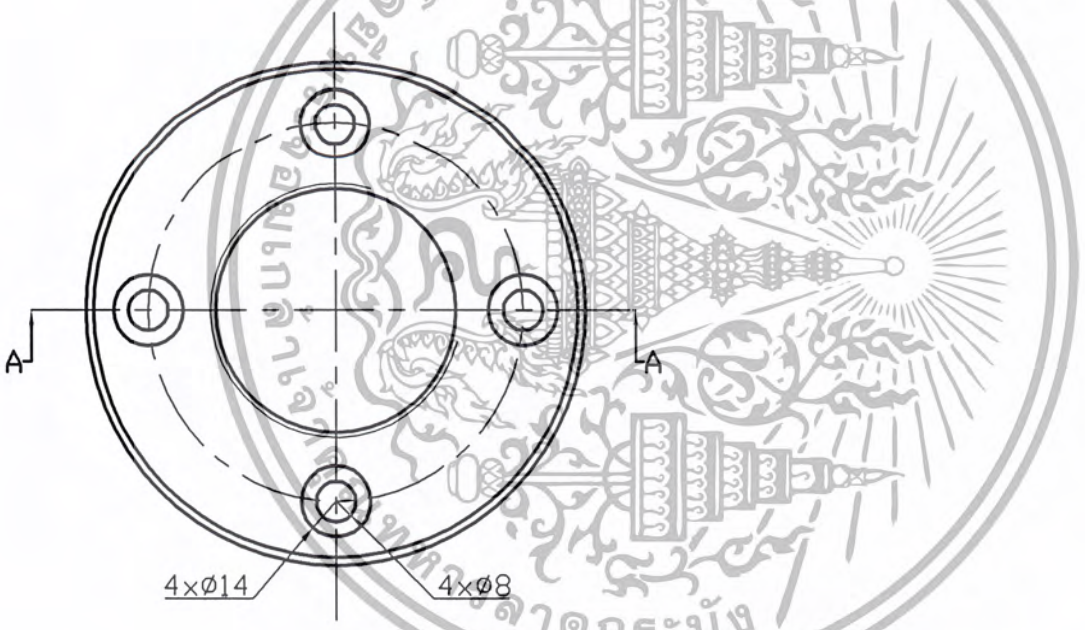



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 09 | Bush | ø75x40 | AISI 1045 | 2 | 001-09 |
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| | MOUNTING PRESS | | Drawing No. 001 |

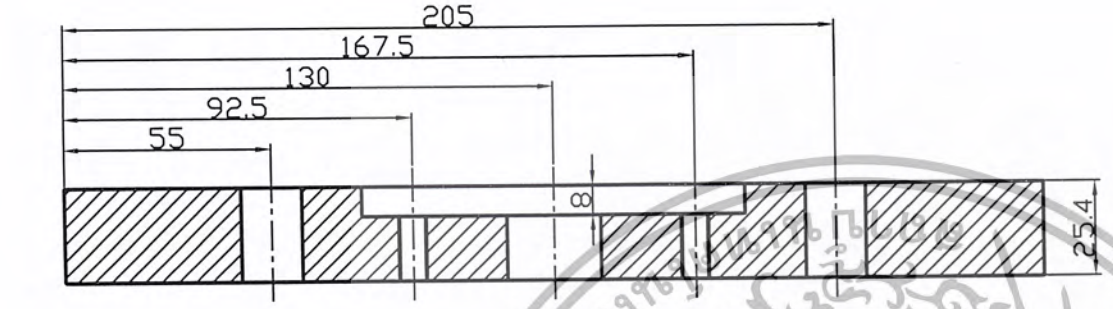


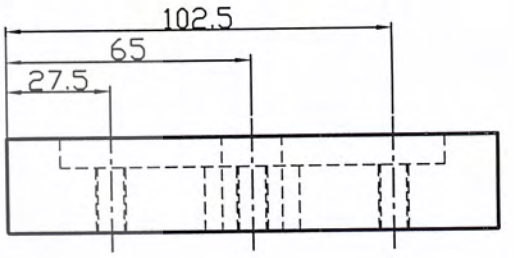

SECTION A-A



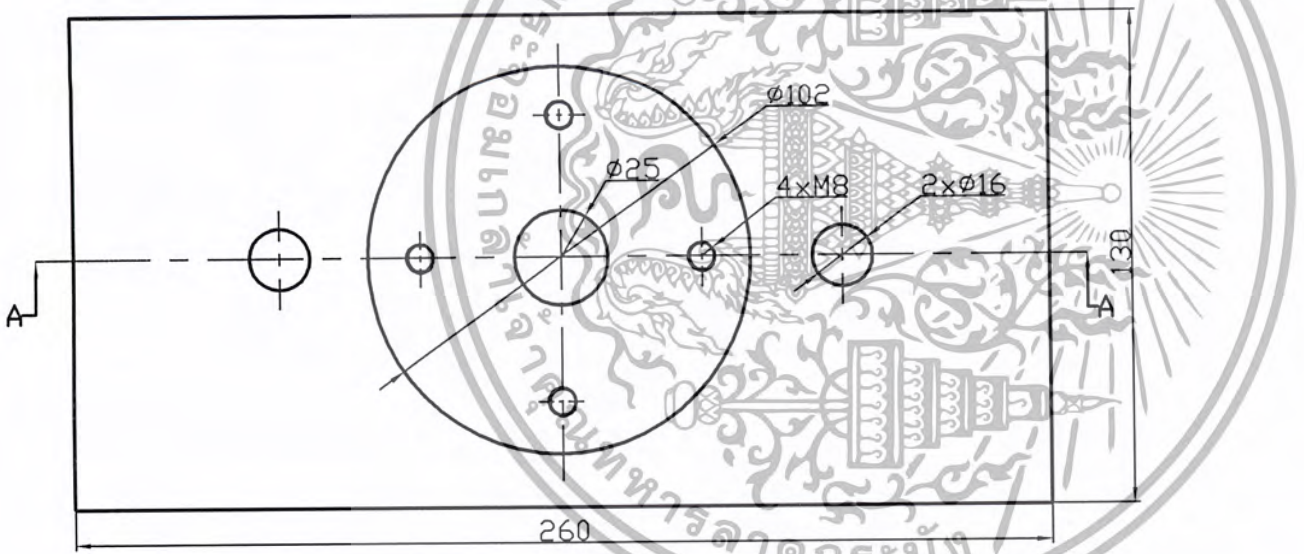

| 10 | Lock Nut | ø105x23 | AISI 304 | 1 | 001-10 |
|---|---|---|---|---|---|
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1.5 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| MOUNTING PRESS | | | Drawing No. 001 |



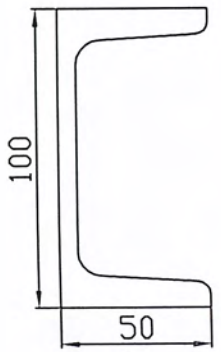



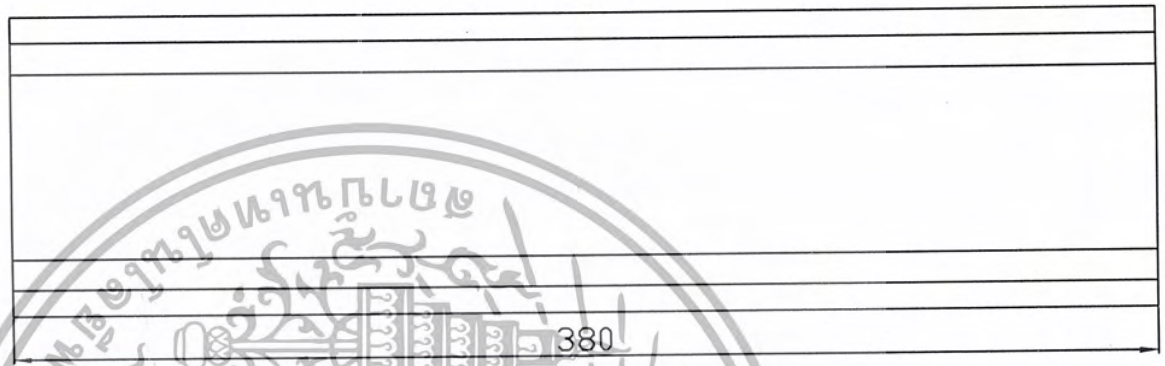

SECTION A-A




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | Top Plate | 135x265x30 | AISI 1045 | 1 | 001-11 |
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:2 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| MOUNTING PRESS | | | Drawing No. 001 |

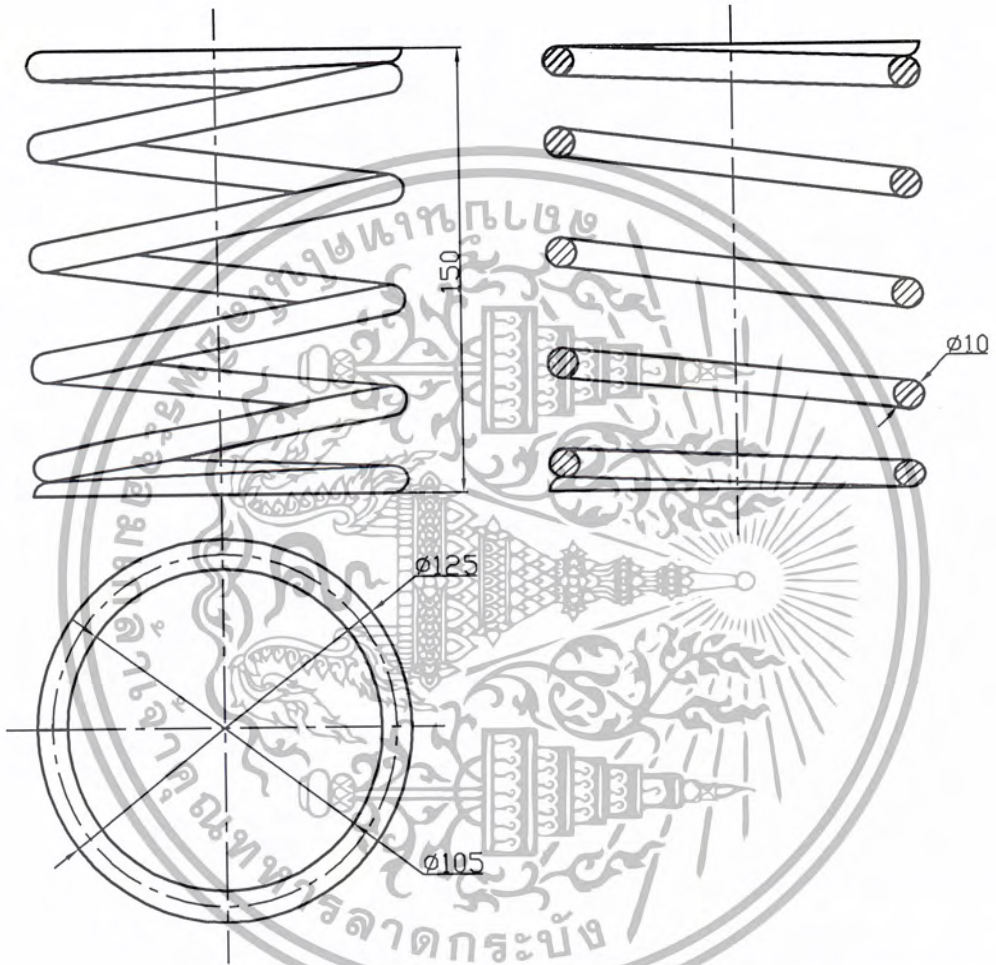


| 12 | C Shapes Column | 100x385 | AISI 1045 | 2 | 001-12 |
|---|---|---|---|---|---|
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:2.5 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| MOUNTING PRESS | | | Drawing No. 001 |

ห้องสมุดคุณหารลาดกระบัง

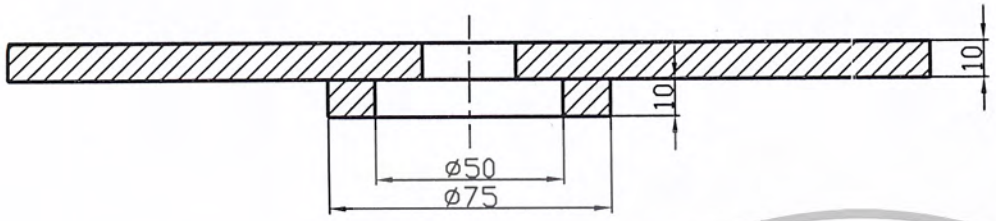



| 13 | Spring | ø125x150 | Standard | 1 | 001-13 |
|---|---|---|---|---|---|
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

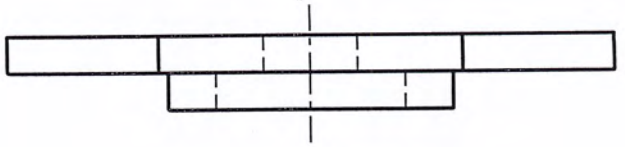
| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:2.5 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| | MOUNTING PRESS | | Drawing No. 001 |

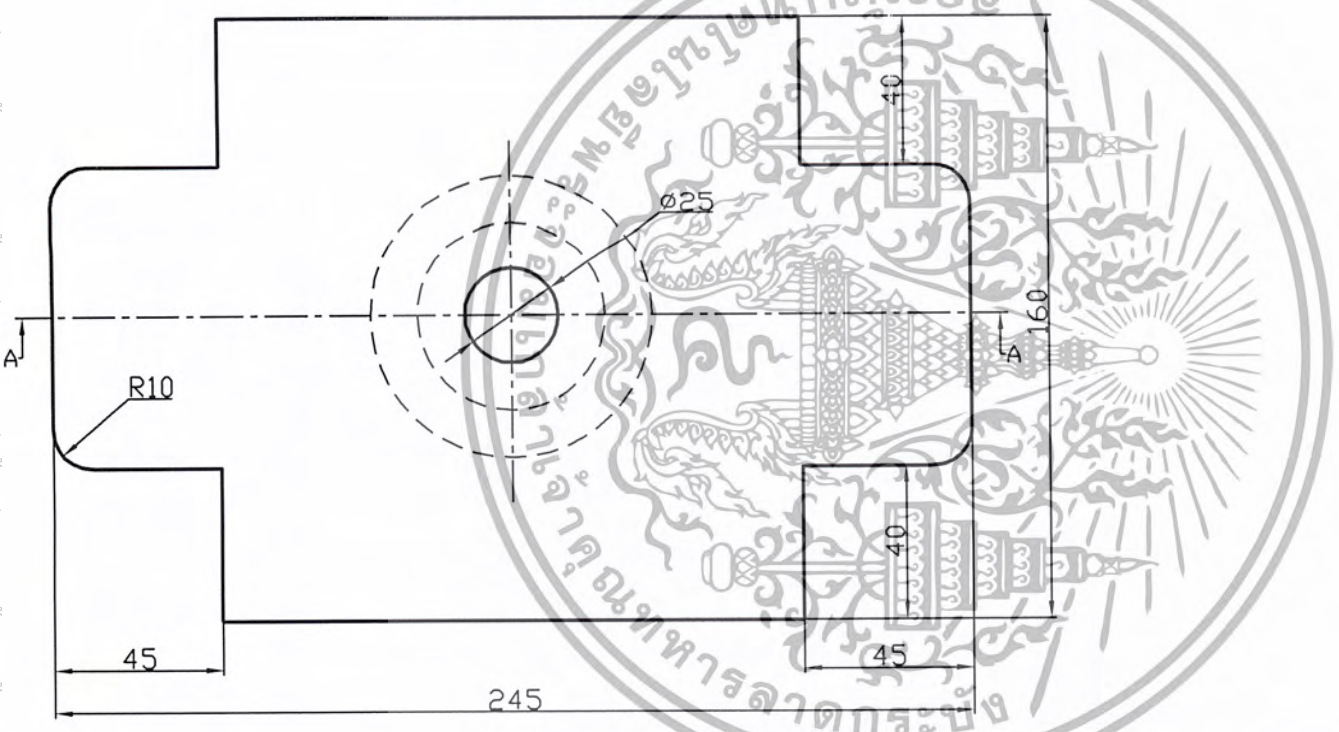
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | Press Column | ø25x160 | AISI 1045 | 1 | 001-14 |
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:1 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| | MOUNTING PRESS | | Drawing No. 001 |




SECTION A-A

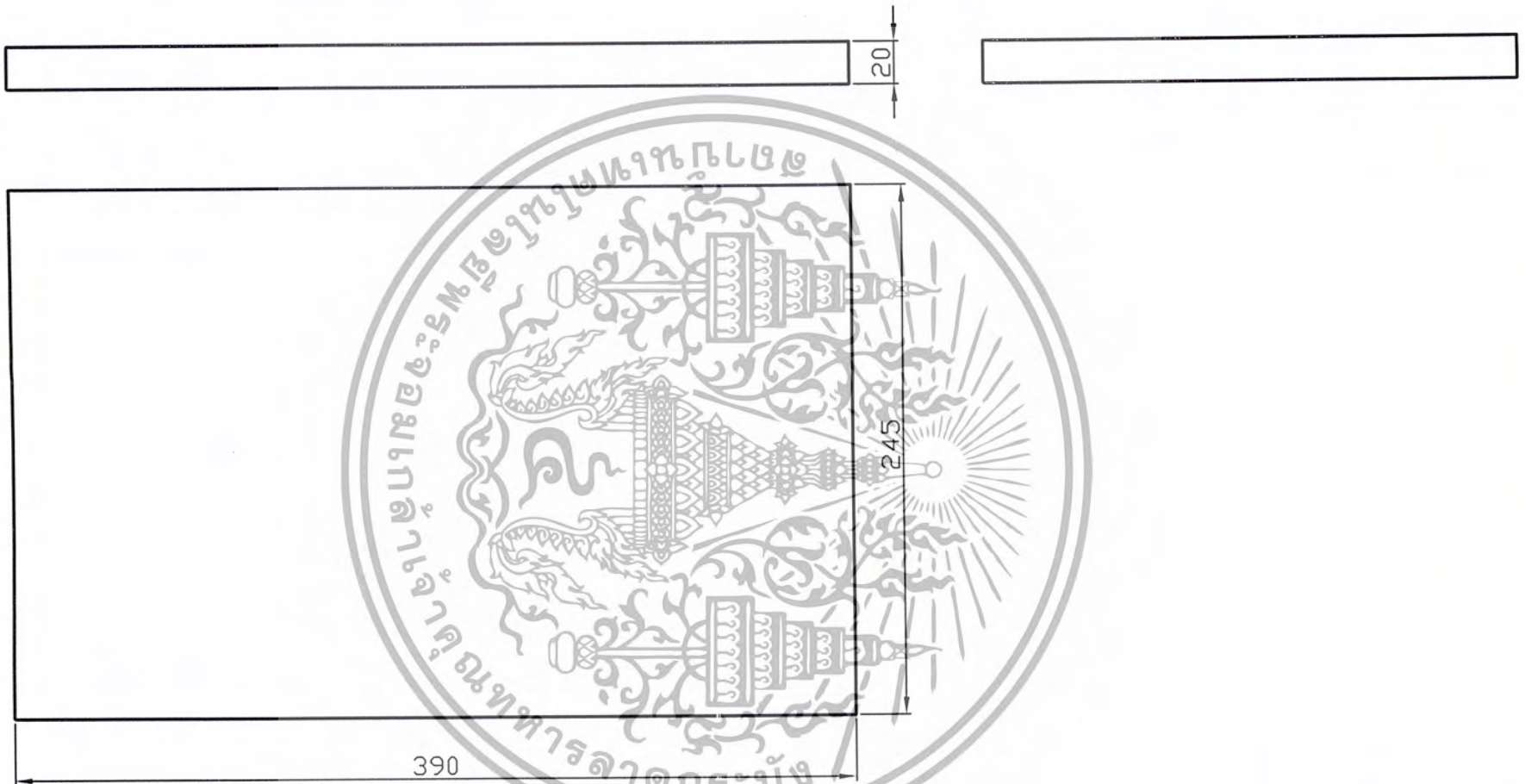





| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 15 | Spring Base | 165x250x10 | AISI 1045 | 1 | 001-15 |
| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Scale 1:2 | Drawn | WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked | PHOLCHAI | |
| | Date | | |
| | MOUNTING PRESS | | Drawing No. 001 |

ใบอนุญาตให้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงาน




| Pos. | Part Name and Remark | Dimension | Material | Req. | Drawing No. |
|---|---|---|---|---|---|
| 16 | Base | 250x395x25 | AISI 1045 | 1 | 001-16 |

| | | |
|---|---|---|
| Scale 1:2 | Drawn: WASIN | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang |
| | Checked: PHOLCHAI | |
| | Date: | |
| MOUNTING PRESS | | Drawing No. 001 |