สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ

นายพงศ์ศิริ สุขเกษม
นายศุภกร สุดสงวน

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....71980
วัน,เดือน,ปี.....- 7 มิ.ย. 2550

.b.....11761301
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF SURFACE GRINDING MACHINE

MR. PONGSIRI SUKKASEAM

MR. SUPAKORN SUDSA-NGUAN

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 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ Development of Surface Grinding Machine		
นักศึกษา	นายพงศ์ศิริ	สุขเกษม	รหัสประจำตัว 47015650
	นายศุภกร	สุดสงวน	รหัสประจำตัว 47015659

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

อาจารย์ผู้ช่วยควบคุมปริญญานิพนธ์

ดร.อนิรุท ไชยจารุวณิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การพัฒนาเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ
	Development of Surface Grinding Machine
นักศึกษา	นายพงศ์ศิริ สุขเกษม
	นายศุภกร สุดสงวน
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร. กรรณชัย กัลยาศิริ
	ดร. อนิรุท ไชยจารุวณิช

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้จัดทำเพื่อออกแบบ พัฒนาและสร้างเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ (Specimen) สำหรับผู้ที่ไม่มีความชำนาญในการขัด จำนวน 3 เครื่อง ส่วนประกอบหลักของเครื่องขัดแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ตัวเครื่องขัดและฐานวางเครื่องขัด การออกแบบโครงสร้าง และชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องขัด ใช้โปรแกรม Mechanical Desktop2006, SolidWorks2006 และ Cimatron E 6.0 ตัวเครื่องขัด ซึ่งทำจากสแตนเลสและอลูมิเนียม ประกอบด้วยส่วนควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่คือเพลา และส่วนบังคับให้เกิดการทำงานในระนาบเดียวคือแขนจับชิ้นงาน ในส่วนของฐานวางเครื่องขัดใช้เหล็กเป็นส่วนใหญ่ และสามารถปรับความสูงตามความเหมาะสมของผู้ใช้ ผลของการสร้างเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบคือ ได้เครื่องขัดตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ และ ชิ้นงานทดสอบที่ทำการขัด มีพื้นผิวหน้าเรียบและเป็นระนาบเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Development of Surface Grinding Machine
Student	Mr.Pongsiri Sukkaseam
	Mr.Supakorn Sudsa-nguan
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2006
Thesis Advisor	Assistant Prof. Dr. Kannachai Kanlayasiri
	Dr. Anirut Chaijaruwanit

Abstract

This project is performed to design, develop and construct 3 surface grinding machines for unskilled grinders. The main components are a grinding body and a supporting base. A structure and other components of the machines were designed using Mechanical Desktop, SolidWorks and Cimatron E 6.0. The grinding body made of stainless steel and aluminium consists of a direction controlling part, a shaft and a single plane controlling part, and a specimen holding arm. The base is mainly made of steel and it's height is adjustable for any users. As a result, the surface grinding machines were successfully obtained as stated in the objectives and a ground specimen possessed a flat surface and a single plane.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การพัฒนาเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ และขอขอบพระคุณอาจารย์ผู้ช่วยที่ปรึกษา ดร.อนิรุท ไชยจารุวณิช สำหรับการตรวจรูปเล่มปริญญานิพนธ์ในเบื้องต้นรวมถึงการขัดเกลาบทคัดย่อของปริญญานิพนธ์เล่มนี้ ขอบพระคุณ ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล สำหรับงบประมาณการทำโครงงาน ขอบพระคุณ ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต สำหรับการตรวจสอบสูตรในการคำนวณ ขอบพระคุณอาจารย์กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข และอาจารย์ชวลิต หามนตรี กับคำถามที่ดีๆเวลาสอบความคืบหน้าของโครงงาน สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโครงงานปริญญานิพนธ์นี้

ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ พระจอมเกล้าฯลาดกระบัง ที่เป็นสถานที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆมากมายทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ และความรู้รอบตัวต่างๆรวมถึงประสบการณ์ที่ดีๆตลอดระยะเวลาที่ได้มาศึกษาที่นี่ ขอบคุณเพื่อนๆและน้องๆทุกคนที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ตลอดมาจนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้จัดทำ

นายพงศ์ศิริ สุขเกษม

นายศุภกร สุดสงวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 วิธีการตรวจสอบโครงสร้าง	2
2.1.1 การศึกษาโครงสร้างมหภาค	2
2.1.2 การศึกษาโครงสร้างจุลภาค	2
2.2 การคัดเลือกตัวอย่าง	2
2.3 การเตรียมตัวอย่าง	3
2.3.1 การตัด	3
2.3.2 การทำตัวเรือน	4
2.3.3 การขัดหยาบ	5
2.3.4 การขัดละเอียด	5
2.3.5 การกัดด้วยสารเคมี	7
2.3.6 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์	7
2.4 การออกแบบเครื่องจักรกลเบื้องต้น	8
2.4.1 กำหนดรายละเอียดของเครื่องจักรกล	8
2.4.2 ศึกษาความเป็นไปได้ของการออกแบบและการสร้างเครื่องจักรกล	9
2.4.3 วิเคราะห์และตัดสินใจเพื่อเลือกแบบที่เหมาะสม	9
2.4.4 การนำเสนอแบบ	9
2.5 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบเครื่องจักรกล	9
2.6 เครื่องมือช่วยเหลือและทรัพยากรในการออกแบบ	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง		หน้า
	2.7 คานและเพลา	10
	2.7.1 พื้นฐานการออกแบบคาน	10
	2.7.2 การออกแบบเพลา	11
	2.7.3 ชนิดของเพลา	13
	2.7.4 จุดสำคัญในการออกแบบเพลา	13
	2.8 ตลับลูกปืนชนิดต่างๆ	14
	2.8.1 ความสามารถในการใช้งานของตลับลูกปืน	15
	2.8.2 วัสดุทำตลับลูกปืน	16
	2.8.3 ขนาดระบุของตลับลูกปืน	16
	2.8.4 การหล่อลื่นตลับลูกปืน	17
	2.9 ความเหมาะสมของเครื่องจักรกับผู้ใช้งาน	18
บทที่ 3	ขั้นตอนการดำเนินงาน	19
	3.1 ด้านโครงสร้าง	19
	3.1.1 ภาพสเก็ต/แบบจำลองเครื่องจักรกล	19
	3.1.2 ออกแบบเครื่องจักรกลด้วยโปรแกรม SolidWorks 2006 และ Mechanical Desktop2006	20
	3.1.3 การวิเคราะห์แบบด้วยโปรแกรม Cimatron E 6.0	21
	3.1.4 การจำลองการทำงานของเครื่องจักรด้วยโปรแกรม SolidWorks 2006	22
	3.1.5 ภาพรายละเอียดแบบแยกชิ้นส่วนของเครื่องจักรสำหรับการขึ้นรูป	23
	3.1.6 ศึกษาวัสดุที่จะนำมาใช้	32
	3.2 การกำหนดลักษณะของเพลา	33
	3.2.1 การกำหนดความยาวของเพลา	33
	3.2.2 การเลือกชนิดของวัสดุ	33
	3.2.3 การทดสอบหาขนาดของแรงที่เกิดขึ้นกับเพลา	33
	3.2.4 การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา	35
	3.2.5 การดำเนินการสร้างเครื่องจักร	38
บทที่ 4	ผลการดำเนินงาน	40
	4.1 ผลการทำงานด้านการออกแบบ	40
	4.2 ผลการทำงานด้านการสร้างเครื่องจักร	40
	4.3 ผลการทดลองการขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง		หน้า
บทที่ 5	สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	44
	5.1 สรุปผล	44
	5.2 ข้อเสนอแนะ	44
บรรณานุกรม		45
ภาคผนวก		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการตัดชิ้นงาน	3
รูปที่ 2.2 แสดงชิ้นงานที่มีตำหนิเกิดจากรอยขีดข่วน	6
รูปที่ 2.3 แสดงชิ้นงานที่มีตำหนิเกิดจากการหลุดของกราไฟต์	6
รูปที่ 2.4 แสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์	8
รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างแรงกระทำกับเพลา	12
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะท่าทางการทำงานกับเครื่องจักรที่เหมาะสม	18
รูปที่ 3.1 แสดงภาพวาดแบบจำลองของเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ	19
รูปที่ 3.2 แสดงการออกแบบเครื่องจักรด้วยโปรแกรม Mechanical Desktop 2006	20
รูปที่ 3.3 แสดงการวิเคราะห์ชิ้นส่วนเครื่องจักรด้วยโปรแกรม Cimatron E 6.0	21
รูปที่ 3.4 แสดงการจำลองการทำงานของเครื่องจักรด้วยโปรแกรม SolidWorks 2006	22
รูปที่ 3.5 แสดงฐานเครื่องจักร	23
รูปที่ 3.6 แสดงฐานวางเพลา	23
รูปที่ 3.7 แสดงเพลาของเครื่องจักร	24
รูปที่ 3.8 แสดงแขนของเครื่องจักร	24
รูปที่ 3.9 แสดงตัวปรับองศา	25
รูปที่ 3.10 แสดงหัวจับชิ้นงาน	25
รูปที่ 3.11 แสดงปลอกสวม Linear Bearing	26
รูปที่ 3.12 แสดงตัวล็อคชิ้นงาน	26
รูปที่ 3.13 แสดงเพลาตัวล็อคกระดาษทราย	27
รูปที่ 3.14 แสดงตัวล็อคตัวจับกระดาษทราย	27
รูปที่ 3.15 แสดงลูกยางสวมเพลาล็อคกระดาษทราย	28
รูปที่ 3.16 แสดงปริ๊นล็อคกระดาษทราย	28
รูปที่ 3.17 แสดงแท่นรองฐานเครื่องขัด	29
รูปที่ 3.18 แสดงแกนสไลด์ปรับระดับโต๊ะวางเครื่องจักร	29
รูปที่ 3.19 แสดงขาโต๊ะวางเครื่องจักร	30
รูปที่ 3.20 แสดงตัวปรับระดับขาโต๊ะ	30
รูปที่ 3.21 แสดงตัวล็อคแกนสไลด์ปรับระดับขาโต๊ะ	31
รูปที่ 3.22 แสดงลูกยางรองขาโต๊ะ	31
รูปที่ 3.23 แสดงการทดสอบหาค่าของแรงที่กระทำกับเพลาของเครื่องจักร	33
รูปที่ 3.24 แสดงลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นกับเพลาของเครื่องจักร	35
รูปที่ 3.25 แสดงพื้นที่เพลาที่ถูกแรงกระทำ	35
รูปที่ 3.26 แสดงแรงกระทำกับจุดเซนทรอยด์	36
รูปที่ 3.27 แสดงกรรมวิธีการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องไส	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.28 แสดงกรรมวิธีการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องกลึง	39
รูปที่ 3.29 แสดงชิ้นส่วนต่างๆหลังการขึ้นรูป	39
รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ	41
รูปที่ 4.2 แสดงเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบแบบสมบูรณ์	41
รูปที่ 4.3 แสดงชิ้นงานทดสอบก่อนทำการขัด	42
รูปที่ 4.4 แสดงชิ้นงานทดสอบหลังการขัดด้วยเครื่องขัดแบบใหม่	43
รูปที่ 4.5 แสดงชิ้นงานทดสอบหลังการขัดด้วยเครื่องขัดแบบเก่า	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงการเลือกใช้วัสดุของแต่ละชิ้นส่วน	32
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าการทดสอบหาค่าของแรงที่กระทำกับเพลาขณะใช้งาน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบแบบที่ใช้อยู่ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เป็นแบบที่ใช้ผู้ปฏิบัติงานในการจับชิ้นงานขณะทำการขัดทำให้ได้ชิ้นงานทดสอบที่มีหน้าสัมผัสที่ไม่ได้ระนาบ เป็นผลมาจากการขาดความชำนาญและการใช้แรงกดที่ไม่สม่ำเสมอของผู้ทำการขัดผิวชิ้นงาน นอกจากนี้เครื่องขัดแบบที่มีอยู่ยังใช้วัสดุในการขัดที่สิ้นเปลือง คือ จะใช้กระดาษทรายมาตัดเป็นวงกลมตามขนาดของแท่นขัด ซึ่งทำให้เหลือเศษกระดาษทรายและไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สำหรับเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบแบบสไลด์นี้ ผู้ทำการขัดชิ้นงานไม่จำเป็นต้องมีความชำนาญในการขัดก็สามารถขัดชิ้นงานให้ได้ระนาบตามที่ต้องการ และจะใช้ขนาดกระดาษทรายตามขนาดมาตรฐานที่มีอยู่ทั่วไปไม่ต้องนำมาตัดให้เกิดเศษเหลือใช้ หลักการทำงานของเครื่องขัดชนิดนี้เป็นไปตามทฤษฎีการขัด คือ จะขัดผิวหน้าให้เป็นระนาบเดียวกัน และเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบแบบใหม่จะทำงานโดยการขัดผิวชิ้นงาน (Specimen) แบบสไลด์ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบนี้สามารถปรับองศาของตัวจับชิ้นงานทดสอบให้ได้ระนาบที่ตั้งฉากเมื่อชิ้นงานทดสอบ ที่นำมาใช้มีระนาบที่เอียงอยู่ก่อนแล้ว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อสร้างเครื่องขัดผิวชิ้นงานทดสอบที่สามารถขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบได้เป็นระนาบเดียวกัน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 สร้างเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบทั้งหมด 3 เครื่อง เพื่อใช้กับกระดาษทรายเบอร์ 600, 800 และ 1000

1.3.2 จัดทำเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ เพื่อใช้กับชิ้นงานทดสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 27.5 มิลลิเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้เครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบที่มีหลักการทำงานตรงกับหลักการขัดผิวหน้าชิ้นงานเพื่อตรวจดูโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Microstructure) ภายในเนื้อวัสดุ

1.4.2 สามารถลดการสิ้นเปลืองวัสดุจากการใช้กระดาษทรายแบบไม่เต็มแผ่น

1.4.3 ได้รับความรู้เกี่ยวกับการออกแบบเครื่องจักรกลมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบเครื่องจักรกลเป็นวิชาที่รวบรวมความรู้ในด้านต่างๆของสาขาวิชาวิศวกรรมมาทำการประยุกต์ใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องจักรกล ซึ่งในการออกแบบชิ้นส่วนของเครื่องจักรค่อนข้างมีความซับซ้อนในแต่ละกระบวนการจึงต้องมีความเชี่ยวชาญในหลายๆด้าน ดังนั้นเราจึงต้องจัดแบ่งขั้นตอนในการออกแบบให้เป็นลำดับขั้นตอน โดยที่จะพิจารณาจากหลักการทำงานและหน้าที่ของชิ้นส่วนนั้นๆเป็นหลักแล้วจึงทำตามขั้นตอนที่ได้วางแผนไว้เพื่อความง่ายในการออกแบบ

2.1 วิธีการตรวจสอบโครงสร้าง

2.1.1 การศึกษาโครงสร้างมหภาค (Macrostructure)

โครงสร้างมหภาค คือ การตรวจสอบด้วยตาเปล่าหรือใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 5 เท่า หรือที่กำลังขยายไม่เกิน 50 เท่า เป็นการตรวจสอบที่สามารถสังเกตเห็นด้วยได้ด้วยตาเปล่า ใช้ตรวจสอบหารอยร้าว รูพรุน การไหลของเม็ดเกรน เพื่อใช้ประโยชน์ในทางมาโครแฟรกโตกราฟี (Macro-fractography) ในกรณีการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยใช้เลนส์ขยายส่องดูลักษณะรอยแตกหัก

2.1.2 การศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

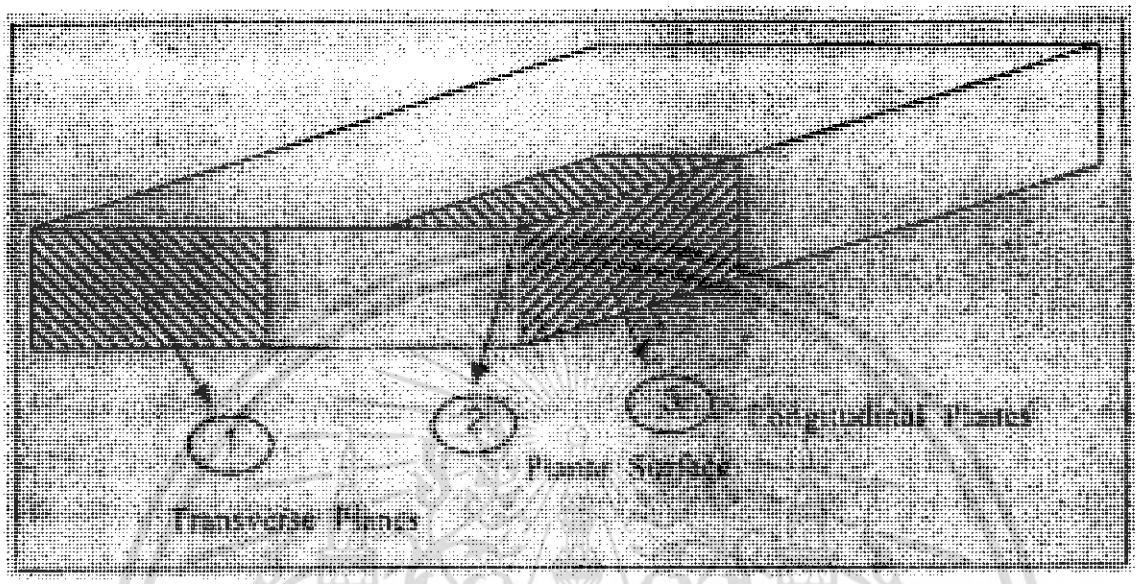
โครงสร้างจุภาค คือ การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายสูง (20 เท่า ขึ้นไปจนถึงกำลังขยายสูงสุดที่ 1,000 เท่า) การตรวจสอบเพื่อหาประเภทของเม็ดเกรน โครงสร้างจากงานหล่อ การเปลี่ยนรูปของวัสดุ รอยร้าวแบบต่างๆ รูอากาศ และพวกสารมลทิน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคที่กำลังขยายสูงกว่า 1,000 เท่า โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) การคัดเลือกตัวอย่างที่จะนำมาตรวจสอบต้องเป็นชิ้นงานจริง การจับต้องให้ระนาบกับกระดาษทรายและเคลื่อนที่ไปอย่างช้าๆ ไปในแนวเดิมด้วยมือของผู้ที่ทำการขัดผิวหน้าชิ้นงาน และต้องมีน้ำหล่อเลี้ยงเพื่อชะล้างเม็ดทรายฉีดลงบนร่อง หรือแนวการขัดของชิ้นงาน

2.2 การคัดเลือกตัวอย่าง (Sample Selection)

ชิ้นงานตัวอย่างที่จะนำมาศึกษาโครงสร้างจุลภาคนั้นจะต้องเป็นตัวแทนชิ้นงานทั้งชิ้นที่นำมาทำการตรวจสอบจริงๆ ดังนั้นการเก็บตัวอย่าง (Sampling) ต้องกำหนดจำนวนชิ้นงาน ตำแหน่ง (Position) และระนาบ (Plane) ที่จะทำการตรวจสอบให้ถูกต้องตามความจำเป็นหรือมาตรฐานกำหนด โดยชิ้นงานแต่ละประเภทจะมีวิธีการเลือกที่จะนำมาตรวจสอบแตกต่างกัน เช่น ชิ้นงานที่ผ่านการรีด (Rolling) ต้องตรวจสอบทั้งภาคตัดตามยาว (Longitudinal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

section) และภาคตัดตามขวาง (Transverse) โลหะที่ได้จากการเทหล่อ (Casting) ต้องตรวจสอบด้านที่ขนานกับทิศทางการแข็งตัวของโลหะ สำหรับเหล็กเส้น (Bar) ควรตรวจสอบระนาบที่ขนานกับทิศทางการไหล (Flow) ของเนื้อวัสดุ และที่สำคัญถ้าชิ้นงานมีรอยแตกควรเลือกชิ้นงานที่ห่างจากรอยแตกนั้นๆพอสมควร



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการตัดชิ้นงาน

2.3 การเตรียมตัวอย่าง (Sample Preparation)

เมื่อเลือกบริเวณที่จะนำมาศึกษาโครงสร้างได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการเตรียมผิวตัวอย่างให้เรียบและกัดด้วยสารเคมี เพื่อให้เกิดภาคโครงสร้างที่ชัดเจนขึ้น ถ้าการเตรียมไม่ดีถึงแม้ว่าจะใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีคุณภาพดีเท่าใดก็ตามก็ไม่สามารถเห็นโครงสร้างที่ถูกต้องแท้จริงของโลหะนั้นได้ และอาจทำให้การแปลความหมายของโครงสร้างผิดพลาดไป

วิธีการเตรียมผิวหน้าตัวอย่างมีอยู่ 6 ขั้นตอนดังนี้

1). การตัด (Cutting)

2). การทำตัวเรือน (Mounting)

3). การขัดหยาบ (Grinding)

4). การขัดละเอียด (Polishing)

5). การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microstructure Inspection)

2.3.1 การตัด (Cutting)

การตัดตัวอย่างเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสม และเป็นตัวแทนของชิ้นงานขนาดใหญ่ได้จะช่วยให้การเตรียมผิวชิ้นงานสะดวกขึ้นและใช้เวลาน้อยลง องค์ประกอบที่มีผลต่อการตัดชิ้นงานขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาตัด วัสดุที่ทำใบตัด ความเร็วการตัด และอัตราการป้อนชิ้นงาน ปริมาณและชนิดของสารหล่อเย็นที่ใช้ในการตัดวัสดุ บางชนิดอาจจะเกิดความเสียหายที่ผิวซึ่งจะมีความลึกที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุและวิธีการตัด ผิวที่เสียหายนี้สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำจัดออกได้หลังจากที่นำไปขัดหยาบ และขัดละเอียดต่อไป

การเลือกใบตัดจะขึ้นอยู่กับความแข็งและความเหนียวของวัสดุ เช่น เซรามิก จะตัดด้วยใบตัดที่ทำจากผงเพชร โลหะกลุ่มเหล็กจะตัดด้วยใบตัดที่ทำจากผงอลูมิเนียมออกไซด์ยึดประสานด้วยเบเคอไลท์ (Bakelite) เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วใบตัดเพชรจะมีอายุการใช้งานที่นานกว่า เนื่องจากเม็ดผงตัดมีความแข็งสูงมาก ใบตัดชนิดนี้จะมีเม็ดผงตัดเคลือบอยู่ตามเส้นรอบวงของแผ่นจานโลหะ แต่ราคาจะแพงกว่า ส่วนใบตัดชนิดที่ทำจากผงอลูมิเนียมออกไซด์ยึดประสานด้วยเบเคอไลท์ (Bakelite) จะสึกเร็ว แต่ราคาจะถูกกว่าชนิดแรก ใบตัดชนิดนี้เม็ดผงตัดจะถูกยึดด้วยตัวประสานทั่วทั้งใบ

2.3.2 การทำตัวเรือน (Mounting)

ตัวอย่างที่ทำการตัดแล้วมีขนาดใหญ่อาจไม่จำเป็นต้องทำตัวเรือนก็สามารถจับขัดได้ แต่ตัวอย่างที่มีขนาดเล็กจำเป็นต้องมีการทำตัวเรือนเพื่อให้สะดวกในการถือจับและเตรียมตัวอย่างในขั้นตอนต่างๆ นอกจากนี้บางชิ้นงานต้องรักษาบริเวณขอบให้สมบูรณ์ หรือรักษาความหนาของชั้นเคลือบก็มีความจำเป็นต้องทำตัวเรือน ก่อนทำตัวเรือนต้องทำความสะอาดตัวอย่างเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกซึ่งจะช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างผิวงานกับเรซิ่น โดยใช้เครื่องสั่นสะเทือนด้วยคลื่นเสียงอัลทราโซนิกส์ (Ultrasonic)

เทคนิคการทำตัวเรือน (Mounting Technique) มี 2 แบบ คือ

- การทำตัวเรือนแบบร้อน (Hot Mounting)
- การทำตัวเรือนแบบเย็น (Cold Mounting)

2.3.2.1 การทำตัวเรือนแบบร้อน (Hot Mounting)

วิธีนี้จะใช้ความดันและความร้อนอัดเรซิ่นที่ทำเป็นตัวเรือน โดยวางผิวหน้าตัวอย่างที่ต้องการศึกษาลงบนดาย (Die) บรรจุเรซิ่นรอบตัวอย่างแล้วให้ความร้อน และความดันจนเรซิ่นหลอมหมด จากนั้นปล่อยให้เรซิ่นแข็งตัว ถ้าต้องการประหยัดเวลาอาจจะใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำหรืออากาศ นำตัวอย่างที่ผ่านการทำตัวเรือนออกไปเตรียมผิวหน้าด้วยขั้นตอนอื่นต่อไป

เรซิ่นที่นำมาใช้มี 2 ประเภท คือ

- เทอร์โมเซทติงเรซิ่น (Thermosetting Resin)
- เทอร์โมพลาสติกเรซิ่น (Thermoplastic Resin)

2.3.2.2 การทำตัวเรือนแบบเย็น (Cold Mounting)

เนื่องจากความร้อนและความดันสามารถทำให้ตัวอย่างโลหะบางชนิดเกิดความเสียหาย หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างได้ ดังนั้นจึงต้องใช้การทำตัวเรือนแบบเย็นแทนการทำตัวเรือนแบบร้อน วิธีนี้เรซิ่นจะถูกผสมกับสารช่วยในการแข็งตัว (Hardener) ที่อุณหภูมิห้องและไม่ต้องใช้ความดันในการทำแบบ เรซิ่นที่ผสมแล้วจะถูกเทลงในแบบ (Mold) ที่มีตัวอย่างวางผิวหน้าคว่ำไว้ เมื่อเรซิ่นเกิดการแข็งตัวก็สามารถถอดออกจากแบบได้ ปัจจุบันในท้องตลาดมีเรซิ่นให้เลือกทั้งแบบชนิดผง และแบบชนิดเหลวจำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรซิ่นที่ใช้ทำตัวเรือนแบ่งได้ 3 ชนิด คือ

- อะครีลิค (Acrylic)
- โพลีเอสเตอร์ (Polyester)
- อีพอกซี่ (Epoxy)

2.3.3 การขัดหยาบ (Grinding)

การขัดหยาบเป็นการกำจัดเนื้อโลหะที่เสียรูปเนื่องจากการตัด ขั้นตอนนี้เริ่มจากการขัดด้วยกระดาษทรายเรียงตามเบอร์จากหยาบไปหาละเอียด เช่น เบอร์ 180 220 320 400 600 800 1,000 และ 1,200 เป็นต้น การขัดด้วยกระดาษทรายนี้จำเป็นต้องป้องกันความร้อนที่อาจจะเกิดขึ้นระหว่างการขัด โดยใช้น้ำหล่อเลี้ยงไหลผ่านระหว่างกระดาษทรายกับชิ้นงานทดสอบ นอกจากนี้น้ำหล่อเลี้ยงยังช่วยพาผงโลหะที่หลุดจากการขัดทิ้งไปด้วย

การขัดควรขัดไปตามแนวเดียวกันตลอดไม่หมุนชิ้นงานตัวอย่างขณะที่ทำการขัด เมื่อรอยขัดอยู่ในทิศทางเดียวกันหมดจึงเปลี่ยนเบอร์ที่ละเอียดขึ้น โดยหมุนชิ้นงานตัวอย่างให้ตั้งฉากกับรอยขัดเดิม แล้วทำการขัดแบบนี้ไปจนถึงกระดาษทรายเบอร์ที่ละเอียดที่สุด

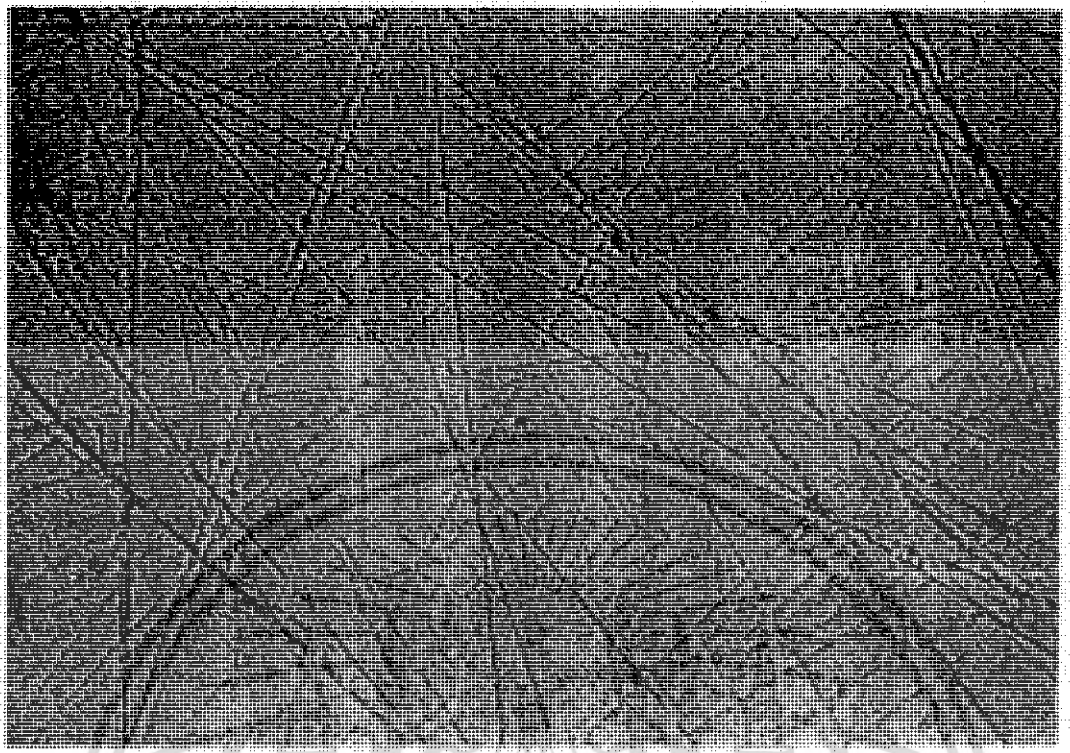
2.3.4 การขัดละเอียด (Polishing)

ชิ้นงานตัวอย่างเมื่อผ่านการขัดหยาบมาแล้วจะถูกขัดด้วยผงขัด เพื่อให้ผิวเรียบปราศจากรอยขีดข่วน มีลักษณะเป็นเงา ผงขัดที่ใช้ต้องเหมาะกับผ้าขัดและชนิดของชิ้นงานตัวอย่างที่จะขัด ปริมาณของผงขัดที่ใช้ขึ้นอยู่กับความแข็งของชิ้นงาน เพราะผงขัดจะทำให้ชิ้นงานตัวอย่างสึกเร็วกว่า การใช้สารหล่อลื่นเพื่อช่วยในการขัดจะใช้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ วัสดุอ่อนใช้สารหล่อลื่นปริมาณมาก เพื่อป้องกันการเสียหายของผิวชิ้นงาน และใช้ผงขัดน้อยเนื่องจากผงขัดสึกหรอน้อย สำหรับวัสดุแข็งใช้สารหล่อลื่นน้อยแต่ใช้ผงขัดปริมาณมากเนื่องจากมีการสึกหรอของผงขัดเร็ว

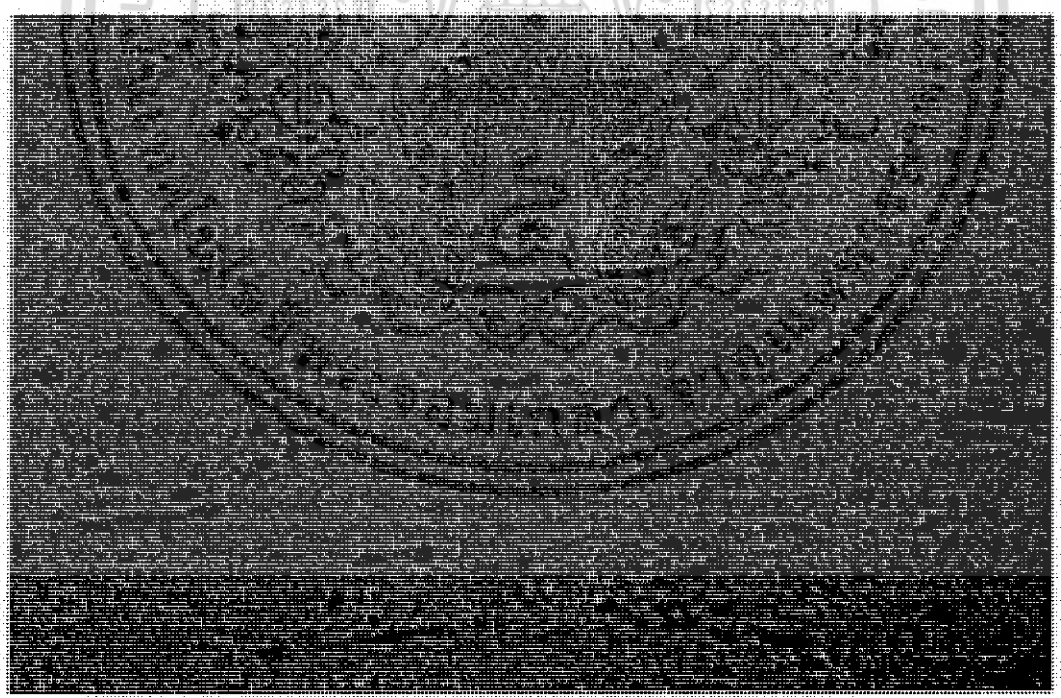
ชนิดของผงขัดที่ใช้โดยทั่วไปมีดังนี้

- ผงขัดอลูมินา หรืออลูมิเนียมออกไซด์
- ผงขัดแมกนีเซียม หรือแมกนีเซียมออกไซด์
- ผงโครเมียมออกไซด์
- ผงเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงชิ้นงานที่มีตำหนิเกิดจากรอยขีดข่วน



รูปที่ 2.3 แสดงชิ้นงานที่มีตำหนิเกิดจากการหลุดของกราไฟต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การกัดด้วยสารเคมี (Etching)

การกัดด้วยสารเคมี คือ การทำปฏิกิริยาระหว่างผิวหน้าที่ขัดมันแล้วกับสารเคมีที่เรียกว่า "สารกัด" สารกัดจะทำปฏิกิริยากับพื้นที่ส่วนต่างๆของโครงสร้างด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเนื้อวัสดุบริเวณนั้น ผิวของชิ้นงานที่มีความสูงต่ำเกิดการกัดเซาะคล้ายการกัดเซาะผิวเปลือกโลก ทำให้เห็นความแตกต่างของยอดเขากับหุบเขา บริเวณขอบเกรนและในเกรนจะถูกกัดด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน จากกล้องจุลทรรศน์จะเห็นว่าเกรนแยกออกเป็นขอบเขต

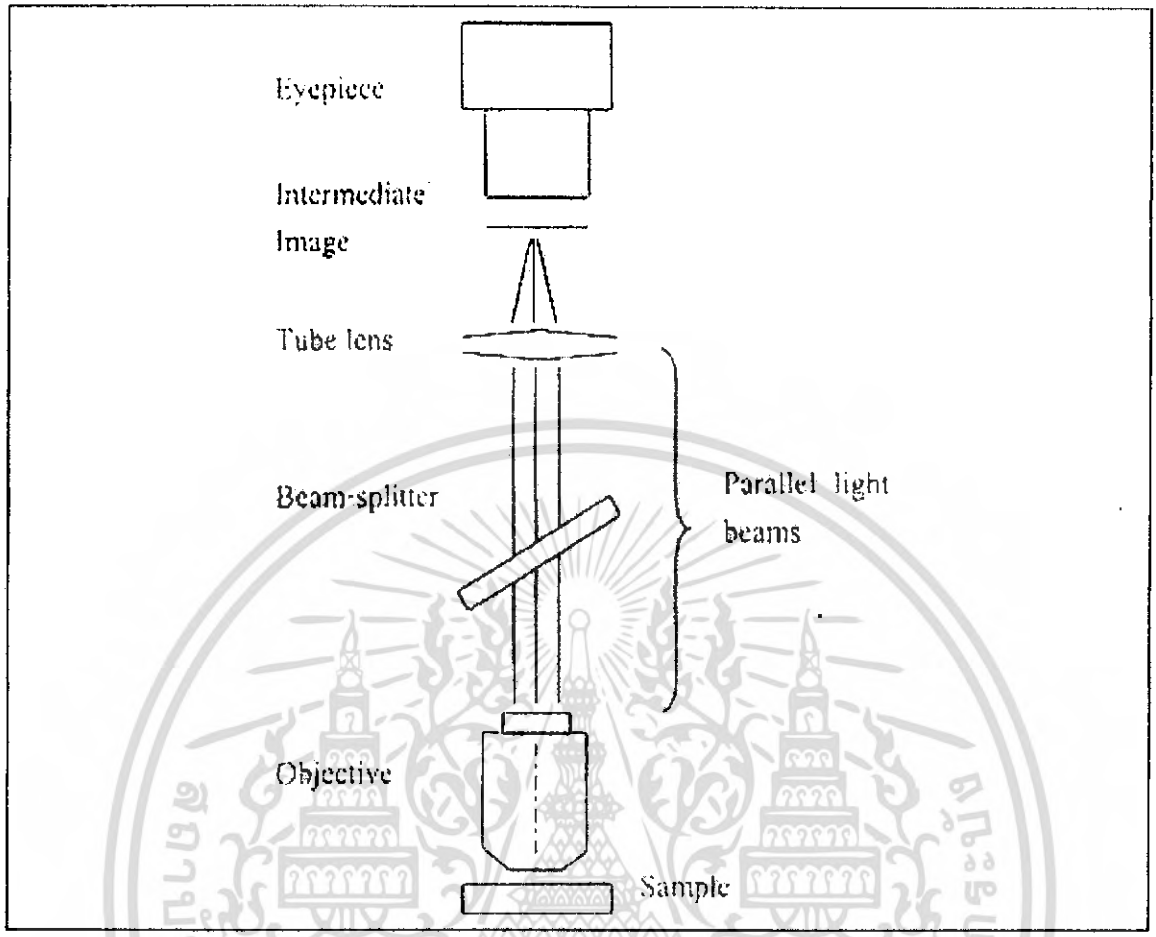
ชิ้นงานตัวอย่างที่จะกัดด้วยสารเคมีต้องแห้งและสะอาด ห้ามใช้นิ้วมือสัมผัสกับผิวหน้าชิ้นงานทดสอบควรใช้คีมคีบ เพื่อจุ่มชิ้นงานทดสอบลงในบีกเกอร์หรือภาชนะบรรจุสารเคมีโดยหงายชิ้นงานให้เห็นผิวหน้าด้านมันขึ้น การเลือกใช้สารเคมีขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและเฟสที่ต้องการศึกษาภายในระยะเวลาที่เหมาะสม ดูความเปลี่ยนแปลงของการกัดด้วยกล้องจุลทรรศน์เมื่อผิวเปลี่ยนจากเงาเป็นมัวเล็กน้อย ปกติจะใช้เวลา 2 ถึง 3 วินาทีจนถึงหลายนาที เวลาจะแปรตามอุณหภูมิของสารเคมีที่ใช้และชนิดของชิ้นงานตัวอย่าง

2.3.6 การตรวจสอบสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์

กล้องจุลทรรศน์สำหรับใช้ในทางโลหะวิทยา จะแตกต่างจากกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในทางชีววิทยา เนื่องจากโลหะเป็นวัตถุทึบแสงจึงต้องอาศัยหลักการตกกระทบ และการสะท้อนของแสงกับผิวหน้าที่เรียบของชิ้นงานตัวอย่าง แหล่งกำเนิดแสงซึ่งอาจเป็นแสงจากธรรมชาติ หรือแสงจากหลอดไฟส่องสว่างไปส่องสว่างไปกระทบตัวอย่างแล้วเกิดการสะท้อนของแสงเข้าสู่เลนส์รวมแสง (Condender) ผ่านตัวกลางอากาศโดยเลนส์วัตถุ (Objective lens) จากนั้นเข้าสู่เลนส์ตา (Eyepieces lens) จะทำหน้าที่ในการขยายภาพทำให้มองเห็นโครงสร้างของชิ้นงาน

กล้องจุลทรรศน์ลำแสงธรรมดามีกำลังการขยายตั้งแต่ 50 ถึง 1,000 เท่า เลนส์วัตถุที่ใช้มี 2 แบบ คือ แบบเปียกกับแบบแห้ง แบบแห้งใช้กำลังขยายต่ำ แบบเปียกใช้กำลังขยายสูง คำว่าเปียกหรือแห้ง หมายถึง สื่อ (Media) ระหว่างเลนส์วัตถุกับตัวอย่าง แบบแห้งสื่อคืออากาศ แบบเปียกสื่อคือน้ำมัน ซึ่งมีดัชนีการหักเหสูง เมื่อใช้น้ำมันเพื่อเพิ่มความคมชัดในการขยายภาพ ควรต้องระวังเรื่องการทำความสะอาดเลนส์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.4 แสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์

2.4 การออกแบบเครื่องจักรกลเบื้องต้น

ในการออกแบบชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลจะถูกเริ่มต้นด้วยคำถาม เช่น ต้องเริ่มต้นออกแบบอย่างไร มีแนวคิดอย่างไร มีปัจจัยอะไรบ้างที่มีอิทธิพล หรือมีส่วนเกี่ยวข้องกับตัวเครื่องจักรกลที่จะทำการออกแบบ และดำเนินการสร้าง โดยที่จะต้องศึกษาความต้องการของการใช้เครื่องจักรกลว่ามีจุดประสงค์เพื่ออะไรในการเริ่มต้น

2.4.1 กำหนดรายละเอียดของเครื่องจักรกล

หลังจากได้ทราบความต้องการ และสามารถกำหนดรูปแบบของเครื่องจักรกลในเบื้องต้นได้แล้ว จะต้องกำหนดหลักเกณฑ์ในการออกแบบของสิ่งนั้น และกำหนดรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะต่างๆของชิ้นส่วนที่จะทำการออกแบบไม่ว่าจะเป็นขนาดหรือมิติของตัวเครื่องจักรกล และข้อจำกัดต่างๆของชิ้นส่วนที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ศึกษาความเป็นไปได้ของการออกแบบและการสร้างเครื่องจักรกล

เมื่อกำหนดรายละเอียดที่จะใช้ในการออกแบบเรียบร้อยแล้ว ต้องนำรายละเอียดนั้นมาศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้งานจริง และจะต้องคำนึงถึงการที่จะนำแบบของชิ้นส่วนหรือเครื่องจักรกลนั้นไปดำเนินการขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆว่ายากหรือง่ายเพียงใด สามารถที่จะประยุกต์ใช้ได้ตามปัจจัยของเครื่องมือที่มีใช้อยู่ได้หรือไม่

2.4.3 วิเคราะห์และตัดสินใจเพื่อเลือกแบบที่เหมาะสม

เมื่อทราบถึงความเป็นไปได้ในการสร้างชิ้นส่วนให้เป็นไปตามที่ออกแบบแล้ว ก็จะต้องวิเคราะห์ว่าสามารถใช้งานได้ดีเพียงใด อยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจแค่ไหน หรือมีประสิทธิภาพเป็นไปตามความต้องการได้มากน้อยเพียงใด นอกจากนั้นยังต้องยอมรับการนำเสนอแบบหรือความคิดใหม่ๆของผู้อื่นมาประกอบการออกแบบเสมอ โดยทั่วไปมักจะมีหลายทางเลือก แต่สุดท้ายผู้ที่ทำการออกแบบก็ต้องตัดสินใจเลือกแบบที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะให้เครื่องจักรกลนั้นสามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุด

2.4.4 การนำเสนอแบบ

ขั้นตอนสุดท้ายในการออกแบบ คือ การอธิบายหรือการสื่อสารที่จะนำไปสู่ขั้นตอนการผลิต หรือการดำเนินการสร้างไม่ว่าจะนำเสนอด้วยคำพูดหรือรูปภาพ โดยแบบที่จะนำมาเสนอนั้นจะต้องมีความสมบูรณ์ครบถ้วนและชัดเจนตามแบบ เช่น การบอกพิกัด การบอกตำแหน่ง ฯลฯ จากนั้นจึงเข้าสู่กรรมวิธีการผลิต

2.5 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบเครื่องจักรกล

ในบางครั้งความทนทานของชิ้นส่วนที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกล จะเป็นปัจจัยสำคัญในการพิจารณารูปทรงทางเรขาคณิตและขนาดของชิ้นงาน ในกรณีนี้เช่นความแข็งแรงของชิ้นส่วนจึงเป็นข้อพิจารณาหลักในการออกแบบ นอกจากนั้นยังมีคุณลักษณะเฉพาะที่ต้องคำนึงถึงหลายประการดังนี้

- ฟังก์ชั่นการทำงาน
- ความเค้น / ความเครียด
- การบิดรูป / ความยืดหยุ่น / ความแข็งแรง
- การสึก
- การกัดกร่อน
- ความปลอดภัย
- ความน่าเชื่อถือ
- สามารถผลิตได้
- มีความเป็นเอกลักษณ์
- ราคา
- แรงเสียดทาน
- น้ำหนัก
- เสียง
- รูปลักษณ์
- รูปทรง
- ขนาด
- การควบคุม
- อุณหภูมิในการใช้งาน
- พื้นผิว
- การหล่อลื่น
- มีตลาด
- การบำรุงรักษา
- ปริมาณการผลิต
- มีแหล่งทรัพยากรในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เครื่องมือช่วยเหลือและทรัพยากรในการออกแบบ

ในปัจจุบัน มีเครื่องมือและทรัพยากรที่ช่วยเหลือวิศวกรผู้ออกแบบในการแก้ปัญหาการออกแบบอยู่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้ซอฟต์แวร์โปรแกรมที่สามารถจำลองชิ้นงานที่ออกแบบให้โดยอัตโนมัติ นอกเหนือจากเครื่องมือต่างๆแล้ววิศวกรผู้ออกแบบยังต้องการข้อมูลทางด้านเทคนิค ตั้งแต่ระดับพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ จนกระทั่งคุณลักษณะเฉพาะของชิ้นส่วนต่างๆ ข้อมูลเหล่านี้มีอยู่ในรูปแบบต่างๆ ตั้งแต่หนังสือคู่มือ แผ่นพับโฆษณา หรือแม้กระทั่งข้อมูลทางอินเตอร์เน็ต

โปรแกรมประเภท CAD (Computer – Aided Design) เป็นซอฟแวร์ช่วยเหลือในการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการแสดงผลรูปแบบ 2 มิติที่วิศวกรออกแบบ ให้เป็นรูปแบบ 3 มิติ โดยอัตโนมัติ และสามารถส่งผลลัพธ์ที่ได้ไปยังเครื่องมือช่วยในการผลิตเพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบได้โดยตรง การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในลักษณะนี้ จะมีข้อดีคือ สามารถคำนวณค่าต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว ในปัจจุบันมีซอฟต์แวร์โปรแกรมประเภท CAD ให้วิศวกรผู้ออกแบบเลือกใช้เป็นจำนวนมาก ตัวอย่างเช่น AutoCAD, Aries, CadKey, I – Deas / Unigraphics และ ProEngineering เป็นต้น นอกจากนั้นวิศวกรผู้ออกแบบยังอาจจะจำเป็นต้องใช้เครื่องมือการคำนวณทางวิศวกรรมอย่างอื่นในการออกแบบ อาทิเช่น โปรแกรมประเภท FEA (Finite Element Analysis) เช่น Algore, ANSIS และ MSC / NASTRAN ในการวิเคราะห์ค่าความเค้น ค่าความเบี่ยงเบน การสั่นสะเทือน หรือโปรแกรมประเภท CFD (Computer Fluid Dynamics) เช่น CFD++, FIDAP และ Fluent ในการวิเคราะห์การไหลของของไหล หรือโปรแกรมจำลองแรงทางพลศาสตร์ และการเคลื่อนไหว เช่น ADAMS, DADS และ Working Model เป็นต้น

2.7 คาน และเพลา

คานและเพลาเป็นส่งที่สำคัญที่สุดส่วนหนึ่งของเครื่องจักรกลทุกชนิด เครื่องจักรกลเกือบจะทุกประเภทมีส่วนหนึ่งที่ใช้ถ่ายทอดการหมุน หรือทั้งการหมุนและกำลัง โดยอาศัยชิ้นส่วนที่สำคัญคือ เพลา

2.7.1 พื้นฐานการออกแบบคาน

คานเป็นชิ้นส่วนของโครสร้างที่ออกแบบเพื่อรองรับแรงกระทำ ที่ตั้งฉากกับแกนตามแนวยาว เนื่องจากแรงกระทำนี้ คานจะเกิดแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดภายใน โดยทั่วไปจะมีการแปรค่าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งตามแนวแกนของคาน บางคานจะถูกกระทำด้วยแรงภายในตามแนวแกน อย่างไรก็ตาม ผลของแรงนี้จะไม่ถูกคิดในการออกแบบ เนื่องจากหน่วยแรงตามแนวแกนโดยทั่วไปจะมีค่าน้อยกว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นโดยการเฉือนและโมเมนต์ดัด คานจะถูกเลือกเพื่อต้านทั้งหน่วยแรงเฉือนและหน่วยแรงดัด

2.7.1.1 <u>การออกแบบคานหน้าตัดคงที่ (Prismatic Beam Design)</u>

การออกแบบคานหน้าตัดคงที่ต้องทำการเลือกพื้นที่หน้าตัด ที่มีขนาดและรูปทรงที่ใช้กันมากในทางปฏิบัติ เพื่อที่วัสดุจะไม่มีหน่วยแรงที่มากเกินไป หรือคานจะไม่มีการทรุดตัวที่มากเกินไปหรือเกิดการโก่งงอ เมื่อถูกกระทำด้วยแรงกระทำ จะกล่าวถึงการออกแบบคานโดยใช้กำลังของคานเป็นหลักในการออกแบบ ซึ่งต้องทราบค่าของหน่วยแรงดัด และหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจริงในคานและจะต้องมีค่าไม่ให้เกินหน่วยแรงดัดและหน่วยแรงเฉือนที่ยอมรับได้สำหรับวัสดุนั้นและต้องอ้างอิงตามมาตรฐานการออกแบบโครงสร้างหรือทางกลศาสตร์ ถ้าช่วงความยาวที่รั้งของคานมีค่ามาก โมเมนต์ภายในจะมีค่ามาก เริ่มแรกจะต้องพิจารณาการออกแบบเพื่อต้านทานการเกิดโมเมนต์ดัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงต้องทำการคำนวณโมดูลัสของหน้าตัดคาน (S) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของตัวแปรไม่ทราบค่าระหว่าง I และ C นั่นคือ $S = \frac{I}{C}$ โดยใช้สมการหน่วยแรงดัด $\sigma = \frac{M}{\sigma_{allow}}$ จะได้ว่า

$$S_{req'd} = \frac{M}{\sigma_{allow}} \qquad \text{สมการ 2.1}$$

เมื่อ M คือ ค่าที่หามาได้จากผังของโมเมนต์ของคาน

σ_{allow} คือ ค่าของหน่วยแรงดัดที่ยอมรับได้

2.7.1.2 <u>คานที่รับหน่วยแรงเต็มที่ตลอดหน้าตัด (Fully Stressed Beams)</u>

ในหัวข้อนี้ได้พัฒนาวิธีสำหรับใช้ในการหาขนาดของหน้าตัดของคานเหลี่ยม เพื่อที่จะหาความสามารถต้านทานโมเมนต์ที่มากที่สุด M_{Max} ภายในช่วงความยาวของคาน เนื่องจากโมเมนต์ในคานโดยทั่วไปจะแปรค่าตลอดความยาวของคาน การเลือกขนาดของคานเหลี่ยมจะไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากคานจะไม่เกิดหน่วยแรงเต็มที่ที่ทุกๆจุดตลอดความยาวของคานเมื่อ $M < M_{Max}$ เพื่อความประหยัดในการออกแบบ ดังนั้นควรจะลดน้ำหนักของคานลงมาอีก วิศวกรบางคนเลือกคานที่ที่มีพื้นที่หน้าตัดแปรค่านั่นคือ ที่แต่ละหน้าตัดตลอดตามแนวคานจะเกิดหน่วยแรงดัดที่มีค่าเท่ากับหน่วยแรงดัดที่ยอมรับได้ คานที่มีพื้นที่หน้าตัดแปรค่าได้นี้เรียกว่า คานหน้าตัดไม่คงที่ โดยทั่วไปใช้ในเครื่องจักรกล เนื่องจากคานสามารถขึ้นรูปโดยการหล่อซึ่งจะเป็นการง่ายในการสร้าง

เมื่อประยุกต์ใช้สมการดัดในการออกแบบคานที่มีหน้าตัดไม่คงที่ ซึ่งจะแสดงในหลักการแสดงสมการนี้ สามารถใช้เป็นวิธีการประมาณสำหรับการหารูปทรงทั่วไปของคาน ขนาดของหน้าตัดของคานหน้าตัดไม่คงที่จะรองรับรองกระทำ สามารถหาได้โดยใช้สมการดัด

$$S = \frac{M}{\sigma_{allow}} \qquad \text{สมการ 2.2}$$

เมื่อ M คือ ค่าของโมเมนต์ภายในที่ตำแหน่งใดๆบนคาน

σ_{allow} คือ ค่าคงที่โมดูลัสของหน้าตัด S

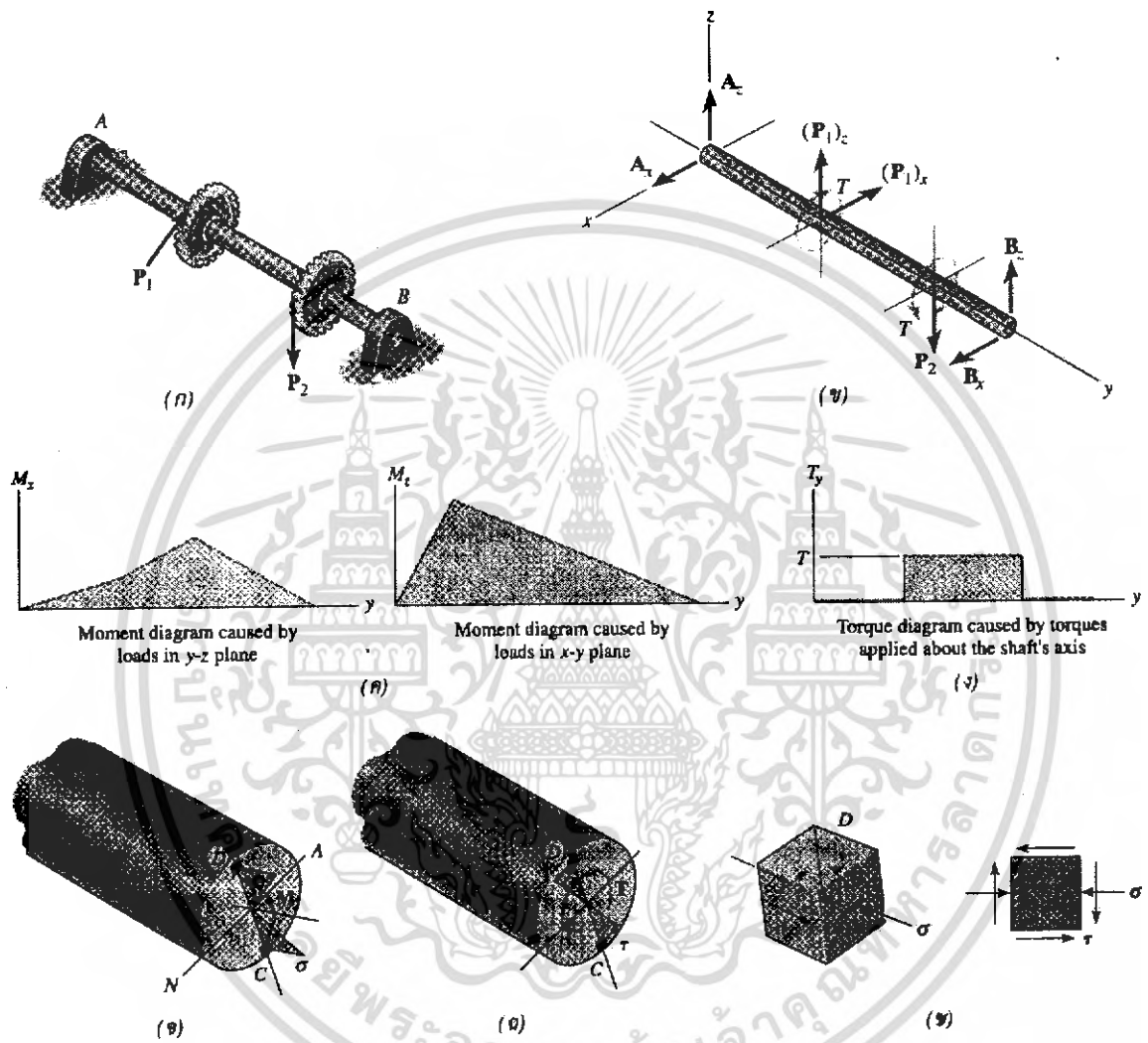
2.7.2 การออกแบบเพลา

เพลามีหน้าตัดรูปวงกลมถูกใช้บ่อยๆ ในเครื่องมือกลชนิดต่างๆ และเครื่องจักรกล เพลาถูกกระทำด้วยหน่วยแรงแบบวงรอบหรือดราก ซึ่งเกิดโดยแรงกระทำแบบรวม และโมเมนต์บิดที่เพลาส่งผ่านหรือเพลาต้านทานแรงกระทำดังกล่าวนี้ ความเข้มของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเพลาเนื่องจากโมเมนต์คู่ควบ และการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดทันทีทันใด เพื่อให้ออกแบบเพลามีความถูกต้องและเหมาะสม จึงจำเป็นที่ต้องคิดผลดังกล่าวนี้ทั้งหมด

เพลาทำหน้าที่ส่งผ่านกำลัง เพลาดังกล่าวนี้โดยทั่วไปถูกกระทำด้วยแรงจากรอกและล้อฟันเฟืองที่สัมผัสอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.1(ก) เนื่องจากแรงกระทำนี้สามารถกระทำต่อเพลาที่มุมต่างๆ โมเมนต์ดัดและโมเมนต์บิดภายในที่หน้าตัด ดังแสดงในรูปที่ 2.1(ข) ผังโมเมนต์ดัดสำหรับแรงกระทำในแต่ละระนาบสามารถวาดได้และโมเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในลัพธ์ที่หน้าตัดใดๆของเพลาคำนวณโดยการบวกเวกเตอร์ $M = \sqrt{M_x^2 + M_z^2}$ ดังแสดงในรูปที่ 2.1(ค) เพิ่มเติมจากโมเมนต์ ชิ้นส่วนของเพลาจะถูกกระทำด้วยโมเมนต์บิดภายในต่างๆ พบว่าสำหรับสมดุลแรงบิดที่เกิดขึ้นที่ฟันเฟือง จะส่งผลให้เกิดสมดุลโมเมนต์บิดที่ล้อฟันเฟืองอื่นๆ ผังโมเมนต์บิดตามความยาวของเพลาดังรูปที่ 2.1(ง)



รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างแรงกระทำกับเพลา

เมื่อผังโมเมนต์และผังโมเมนต์บิดจัดตั้งขึ้น เป็นไปได้ที่จะศึกษาหน้าตัดแน่นอนตามเพลาที่รวมโมเมนต์ลัพธ์ M และโมเมนต์บิด T ที่ทำให้เกิดเหตุการณ์หน่วยแรงมากที่สุด โมเมนต์ของความเฉื่อยรอบแกนของเส้นผ่านศูนย์กลาง เนื่องจากแกนนี้แทนแกนหลักของความเฉื่อย สำหรับหน้าตัดจะประยุกต์ใช้สมการการคัดโดยใช้โมเมนต์ลัพธ์เพื่อให้ได้ค่าหน่วยแรงดัดที่มีค่ามากที่สุด จากรูปที่ 2.1(จ) หน่วยแรงนี้เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนทั้งสอง C และ D แต่ละค่าอยู่บนขอบเขตภายนอกของเพลา ถ้าแรงบิด T ต้านทานที่หน้าตัดนี้ด้วยแล้ว หน่วยแรงเฉือนที่มีค่ามากที่สุดจะเกิดขึ้นบนชิ้นส่วนดังกล่าวนี้ ดังในรูปที่ 2.1(ฉ) นอกจากนั้นแรงกายนอกจะทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนในเพลาหาได้จาก $\tau = \frac{VQ}{It}$ หน่วยแรงนี้โดยทั่วไปจะให้การกระจายหน่วยแรงน้อยมากบนหน้าตัดเมื่อเทียบกับการกระจายหน่วยแรงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดจากการดัดและการบิด เพื่อให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่ายจะไม่คิดผลดังกล่าวในการวิเคราะห์นี้ โดยทั่วไปแล้วจุดวิกฤต คือ จุด C และ D บนเพลา มีสมการดังนี้

$$\sigma = \frac{MC}{I} \text{ และ } \tau = \frac{MC}{J} \qquad \text{สมการ 2.3}$$

2.7.3 ชนิดของเพลา

เพลาถ่ายทอดกำลังอาจจะแบ่งตามชนิดของโหลด (Load) ดังนี้

2.7.3.1 <u>เพลาถ่ายทอดกำลัง (Transmission Shafts)</u>

ชนิดนี้ใช้รับเฉพาะการบิดอย่างเดียว หรืออาจจะรับทั้งการบิดและการดัดผสมกัน กำลังจะถ่ายทอดผ่านเพลาโดยอาศัยแผ่นประกับต่อเพลา (Coupling) เฟือง, มู่เล่และสายพาน หรือ จานโซ่และโซ่ ฯลฯ

2.7.3.2 <u>เพลาสั้น (Spindle)</u>

ในการใช้งานทั่วไปใช้รับเฉพาะการบิดเพียงอย่างเดียว มักจะมีขนาดค่อนข้างสั้น เช่น ที่เพลาประธาน (Main shaft) ของเครื่องจักรกลต่างๆ เพลาพวกนี้ต้องการรูปร่าง และขนาดที่ถูกต้องจริงๆ แม้ในขณะที่ใช้งาน

2.7.3.3 <u>เพลาคาน (Axles)</u>

เพลาชนิดนี้ใช้ต่ออยู่ระหว่างล้อของรถยนต์ รถบรรทุก รถพ่วง ฯลฯ (บางครั้งเรียกว่า คาน) โดยปกติแล้วเพลาแบบนี้ไม่ได้ออกแบบไว้ให้หมุน แต่จะให้รับการดัดเพียงอย่างเดียว นอกจากในกรณีที่ถูกออกแบบให้ใช้เป็นเพลาขับเท่านั้น นอกจากจะแบ่งเพลาตามชนิดของโหลดแล้ว อาจจะแบ่งออกตามชนิดของรูปร่างได้อีก คือเพลาตรง เพลาข้อเหวี่ยงที่ใช้เป็นเพลาประธานของเครื่องยนต์ลูกสูบ เพลาอ่อน (Flexible shafts) ที่ใช้ถ่ายทอดกำลังน้อยๆ และในทิศทางใดๆ เป็นต้น

2.7.4 จุดสำคัญในการออกแบบเพลา

ในการออกแบบเพลามีจุดที่ควรพิจารณาดังนี้

2.4.2.1 <u>ความแข็งแรงของเพลา</u>

ดังได้กล่าวมาบ้างแล้วว่าเพลาที่ถ่ายทอดกำลังจะต้องรับการบิดและการดัดหรือทั้งสองอย่าง แต่มีเพลาบางแบบที่อาจจะรับการดัดหรือการอัดด้วย เช่น เพลาของกังหันน้ำแบบล้อ (Water Wheel) หรือ เพลาขับของเรือ

นอกจากนี้ยังจะต้องพิจารณาเรื่องการล้อ การกระแทก หรืออิทธิพลของการรวมจุดความเค้น (Stress concentration) เนื่องมาจากการเปลี่ยนขนาดเพื่อทำบ่า หรือเมื่อมีการเซาะร่องลิ่ม ดังนั้นเพลาที่จะออกแบบต้องแข็งแรงพอที่จะรับโหลดดังกล่าวทั้งหมดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 ความแข็งแกร่งของเพลา

นอกจากจะต้องแข็งแรงพอแล้วในขณะที่ใช้งานเพลาอาจจะโก่ง หรือบิดเบี้ยวมาก อันอาจจะทำให้เกิดผลิตผลที่ผลิตโดยเครื่องจักรนั้นๆผิดพลาดไป หรือทำให้การขบกันของฟันเฟืองไม่สนิท ทำให้เกิดเสียงดังและสั่นสะเทือน ด้วยเหตุนี้ ในการออกแบบเพลาจึงต้องนำเอาความแข็งแกร่งเข้ามาพิจารณาร่วมกับความแข็งแรงด้วย แต่ทั้งนี้ก็ต้องพิจารณาประกอบด้วยว่าเพลานั้นๆ ออกแบบขึ้นเพื่อใช้กับงานหรือเครื่องจักรกลชนิดใดด้วย

2.4.2.3 ความเร็ววิกฤต

ถ้าความเร็วของเพลาถูกเพิ่มขึ้นมากๆ จะพบว่าที่ความเร็วหนึ่ง เพลามีความสั่นสะเทือนมากขึ้นอย่างผิดปกติในทันทีทันใด ความเร็วที่เกิดจากการสั่นสะเทือนมากนี้เรียกว่า "ความเร็ววิกฤต" อาการเช่นนี้มักจะเกิดกับกังหันที่หมุนด้วยความเร็วสูง เครื่องยนต์สันดาปภายใน มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น หากเราทิ้งไว้ที่ความเร็วนี้เป็นเวลานาน เพลาอาจเสียหาย ดังนั้น สำหรับชิ้นส่วนที่หมุนด้วยความเร็วสูงจึงต้องระมัดระวังให้ความเร็วใช้งานต่ำกว่าความเร็ววิกฤตเสมอ

2.4.2.4 การกัดกร่อน

เพลาของเครื่องจักรกลบางชนิด เช่น เพลาขับของเรือ เพลาของปั๊มที่สัมผัสกับของเหลวที่มีการกัดกร่อนหรือเพลาของเครื่องจักรที่มีช่วงที่หยุดใช้เป็นเวลานาน จะต้องเลือกทำด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติต่อต้านกับการกัดกร่อนได้ดี (รวมทั้งพลาสติกด้วย) การเลือกวัสดุที่ถูกต้องและเหมาะสมจะช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร และลดเวลาที่ต้องหยุดซ่อมแซมก่อนถึงเวลาอันสมควร

2.4.2.5 วัสดุที่ใช้ทำเพลา

เพลาของเครื่องจักรกลส่วนมากมักทำโดยกรรมวิธีดึงเย็น (Cold drawn) แล้วแต่งผิวให้เรียบ โดยนำแท่งเหล็กเหนียว (เรียกว่า S – C material) ที่ได้มาจากเหล็กเหนียวแท่งฆ่าออกซิเจน (Killed ingot) ที่มีคาร์บอนผสมอยู่ตามเปอร์เซ็นต์ที่กำหนด

2.8 ตลับลูกปืนชนิดต่างๆ

ประโยชน์ของตลับลูกปืนคือ จะให้ความฝืดหมุนต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับความฝืดเลื่อนไถลทำให้ความร้อนที่เกิดจากการเสียดทานต่ำ

ตลับลูกปืนก็คล้ายๆ กับกาบเพลา คือจัดออกเป็นแบบต่างๆ หลายแบบ เช่นตลับลูกปืนในแนวรัศมีซึ่งใช้รับโหลดทางแนวรัศมีเป็นส่วนใหญ่ โดยมีโหลดในแนวแกนได้บ้างเล็กน้อย และตลับลูกปืนที่รับโหลดดันรุนในแนวขนานกับแนวแกนของเพลา

แต่เมื่อพิจารณาจากรูปร่างของลูกปืน ตลับลูกปืนอาจจะแบ่งออกได้เป็น ลูกปืนกลม และลูกปืนทรงกระบอก นอกจากนี้ อาจจะแบ่งต่อออกไปได้อีก โดยพิจารณาจากจำนวนแถวและโครงสร้างภายในตลับลูกปืนที่รางนอกหรือรางในสามารถถอดแยกออกจากกันได้ เรียกว่า แบบถอดแยกได้ ส่วนแบบที่แยกออกจากกันไม่ได้ เรียกว่า แบบถอดแยกไม่ได้ สามารถเลือกใช้ได้จากตารางลูกปืนในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเครื่องจักรกลต่างๆ และตลับลูกปืนสำหรับเครื่องวัด ตลับลูกปืนธรรมดาทั่วๆไป มีการกำหนดขนาดและมิติต่างๆ ไว้ในมาตรฐานของ ISO (International Organization for Standardization) ยกเว้นตลับลูกปืนที่ใช้กับรถยนต์ซึ่งมีมิติและขนาดพิเศษ ขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้โดยเฉพาะ

2.8.1 ความสามารถในการใช้งานของตลับลูกปืน

2.8.1.1 <u>ความสามารถในการรับโหลดในแนวรัศมี</u>

ตลับลูกปืน รัศมีที่มีมุมสัมผัสระหว่างลูกปืนและรางมาก สามารถรับโหลดในแนวแกนได้บ้างเช่นกัน สำหรับแบบรางลึก และแบบลูกปืนทรงกระบอกเรียวที่มีมุมสัมผัสมาก สามารถรับโหลดในแนวแกน (โหลดดันรุน) ได้บ้าง ส่วนแบบที่ปรับตัวเองได้นั้น ลูกปืนกลม หรือทรงกระบอกกลม สามารถจะจัดตำแหน่งของตัวเองตามการโก่งของเพลา แต่แบบนี้ สามารถรับโหลดในแนวแกนได้น้อยกว่าแบบที่กล่าวมาแล้ว

ส่วนตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกระบอก โดยทั่วๆ ไปแล้ว ใช้เพื่อรับแต่โหลดในแนวรัศมีอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม บางแบบก็ได้มีการออกแบบขึ้นมาพิเศษเพื่อให้รับโหลดในแนวแกนได้ด้วย

2.8.1.2 <u>ความสามารถในด้านความเร็ว</u>

ขีดจำกัดทางด้านความเร็วของตลับลูกปืน คือ ตัวเลขที่ได้จากผลคูณระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา d (มม.) กับความเร็ว n (รอบ/นาที) แต่ทั้งนี้ ยังขึ้นอยู่กับการให้การหล่อลื่นและชนิดของตลับลูกปืนด้วย แต่ส่วนมากแล้ว ตลับลูกปืนแบบลูกปืนกลมที่มีรางลึกหรือสัมผัสมุม และแบบลูกปืนทรงกระบอกเหมาะที่จะใช้งานที่มีความเร็วสูงๆ ส่วนตลับลูกปืนแบบลูกปืนทรงกระบอกเรียว กับประเภทหรือแบบที่สามารถปรับตัวเองได้เหมาะกับงานที่มีความเร็วปานกลาง แต่ตลับลูกปืนกันรุนนั้นจะใช้กับงานที่มีความเร็วต่ำๆเท่านั้น

2.8.1.3 <u>ความสามารถในด้านความฝืด</u>

ตลับลูกปืนแบบลูกปืนกลม หรือทรงกระบอกกลม มีค่าความฝืดต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับรองลื่นแบบอื่นๆ ยิ่งเมื่อใช้รองลื่นกับพวกเครื่องมือวัดต่างๆด้วยแล้ว ความสามารถในด้านความฝืดจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาในขณะออกแบบ

2.8.1.4 <u>ความสามารถในทางการสั่นสะเทือน และการส่งเสียงดัง</u>

องค์ประกอบสำคัญที่เกี่ยวกับเรื่องนี้คือ ความกลมของลูกปืน ความโค้งมนของราง ความหยาบของผิวลูกปืนและราง สภาพของตัวแยกลูกปืน และความบริสุทธิ์ของน้ำมันหล่อลื่น ฯลฯ ส่วนประกอบอื่นๆ รองลงมาได้แก่ความถูกต้องในการประกอบ และความละเอียดในการผลิต ต้นเหตุของการสั่นสะเทือนและส่งเสียงดัง มีหลายอย่างประกอบกัน จนถึงปัจจุบัน ยังไม่มีผู้ใดสามารถเอาชนะได้โดยเด็ดขาดจริงๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 วัสดุทำตลับลูกปืน

รางและลูกปืนส่วนมากแล้วทำด้วยเหล็กที่มีคาร์บอนสูงผสมกับโครเมียม จากนั้นใช้กระบวนการทางความร้อนช่วยเพิ่มความแข็งให้กับวัสดุ เพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน และทำให้ทนต่อการสึกหรอได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังได้มีการค้นคว้า ปรับปรุงวัสดุที่ใช้ทำตลับลูกปืนที่ได้มาจากการหลอมเหล็กในสุญญากาศ แต่วิธีนี้ยังไม่เหมาะสมกับการผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก อย่างที่มีทำกันในโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากราคาแพง ส่วนมากแล้ว การหลอมชนิดนี้มักจะใช้เพื่อการผลิตเหล็กบริสุทธิ์เสียมากกว่า

ยังมีการผลิตลูกปืนด้วยเหล็กที่ได้รับการหลอมเป็นพิเศษอีกแบบหนึ่ง คือการหลอมเหล็กให้ละลายในอากาศธรรมดา แล้วนำไปไว้ในที่มีความดันต่ำมากๆ (เกือบสุญญากาศ) ทำให้ก๊าซที่ผสมอยู่ในเหล็ก ลอยหนีออกมา เหล็กที่ได้จากกรรมวิธีนี้ จะมีความแข็งแรงกว่าแบบที่ได้มาจากการหลอมธรรมดา สำหรับตลับลูกปืนที่ออกแบบให้รับการกระแทกโดยตรง มักจะทำด้วยเหล็กผสมที่มีคาร์บอนต่ำ และได้ผ่านกระบวนการทางความร้อนจนมีโครงสร้างเป็นซีเมนไทท์ (Cementite) สำหรับตลับลูกปืนที่ต้องการให้ทนทานต่อการกระแทก และต้านทานต่อการสึกกร่อนด้วย จะทำด้วยเหล็กความเร็วสูง (High speed steel) หรือพวกที่เป็นเหล็กมาเทนไซท์ (Martensite) ที่อยู่ในตระกูลเหล็กสแตนเลส

สำหรับพวกตัวแยก ซึ่งจะเลื่อนไถลสัมผัสกับลูกปืนตลอดเวลา จะต้องต้านทานต่อการสึกหรอและจะต้องไม่เสียได้โดยง่าย ถ้าเป็นตลับลูกปืนเล็กๆ มักจะทำมาจากเหล็กแผ่นเล็กๆ (Band steel) ที่มีคาร์บอนต่ำ หรือพวกเหล็กแผ่นผิวเรียบโดยการอัดขึ้นรูป แต่สำหรับการใช้งานพิเศษ มักจะทำมาจากพวกแผ่นทองเหลือง หรือแผ่นเหล็กสแตนเลส ส่วนตลับลูกปืนขนาดใหญ่ มักจะใช้เหล็กที่มีคาร์บอนต่ำ หรือทองเหลืองที่มีความต้านแรงดึง (Tensile strength) สูงๆ นอกจากนี้ ยังมีตลับลูกปืนที่ทำขึ้นเพื่อใช้กับงานที่มีความเร็วสูงๆ ซึ่งทำด้วยพลาสติกอีกด้วย สำหรับหมุดที่ใช้ย้ำให้ตัวแยกติดกัน ส่วนมากมักทำด้วยเหล็กคาร์บอนต่ำที่มีคุณภาพดี

2.8.3 ขนาดระบุของตลับลูกปืน

เนื่องจากขนาดของตลับลูกปืน ได้มีการกำหนดไว้เป็นมาตรฐานสากล ดังนั้นในทางปฏิบัติ ขนาดของตลับลูกปืนจึงจะต้องเลือกมาจากหนังสือคู่มือ (Catalog) ของตลับลูกปืนที่บริษัทผู้ผลิตได้ทำขึ้น

มิติที่สำคัญของตลับลูกปืน ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู (เพลา) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก ความกว้าง และมุมต่างๆ โดยทั่วไปแล้ว มักจะใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเป็นบรรทัดฐานและพิจารณาร่วมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก และความหนาที่ต่างๆกันออกไป

ขนาดระบุของตลับลูกปืนประกอบด้วยตัวเลขหลัก และสัญลักษณ์ประกอบ ตัวเลขหลักที่ใช้กันคือ สัญลักษณ์ของชนิด สัญลักษณ์ของขนาด (สัญลักษณ์ของความกว้าง เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก) หมายเลขขนาดของรู สัญลักษณ์และมุมสัมผัส ส่วนสัญลักษณ์ประกอบได้แก่ สัญลักษณ์ของตัวแยกของกันรั่ว และสัญลักษณ์ของการกันรั่ว รูปร่างของราง การประกอบ ช่องว่าง และสัญลักษณ์ของชั้นต่างๆ แต่ตามปกติแล้วสัญลักษณ์เหล่านี้มักจะไม่พูดถึงกัน นอกจากจะได้มีการระบุไว้เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.8.4 การหล่อลื่นตลับลูกปืน

จุดประสงค์หลักของการหล่อลื่นตลับลูกปืน คือป้องกันการสึกหรอ หรือความเสียดทานระหว่างลูกปืนกับราง และส่วนประกอบอื่นๆ เพื่อการระบายความร้อน และเพื่อป้องกันมิให้สิ่งสกปรกจากภายนอกเข้าไปกัดกร่อนส่วนเคลื่อนไหวต่างๆ

วิธีการหล่อลื่นที่ใช้กันอยู่มี สองวิธีคือ การหล่อลื่นด้วยน้ำมันเครื่อง และการหล่อลื่นโดยใช้จาระบี การใช้จาระบีเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการกันรั่วต่างๆ ทำได้ค่อนข้างง่ายและจาระบีที่มีคุณภาพดีปานกลาง ก็สามารถให้อายุการใช้งานที่ยาวนานได้

สำหรับตลับลูกปืนที่ใช้กับงานที่ความเร็วสูงหรือมีอุณหภูมิสูงๆนั้น มักจะนิยมใช้น้ำมันหล่อลื่นมากกว่า วิธีที่นิยมมากที่สุดวิธีหนึ่งก็คือ การใช้อ่างน้ำมัน วิธีนี้เพลามักจะวางอยู่ในแนวระดับและระดับน้ำมันหล่อลื่นจะต้องอยู่สูงอย่างน้อยที่สุดที่จุดกึ่งกลางของลูกปืนตัวล่างสุด แต่วิธีนี้จำเป็นจะต้องรักษาอุณหภูมิของน้ำมันไว้ที่ค่าๆหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องมีการระบายความร้อนออกจากน้ำมัน โดยการผ่านไปตามท่อระบายความร้อนต่างหากอีก

แต่ถ้าเพลาอยู่ในแนวดิ่ง และหมุนด้วยความเร็วต่ำกว่าขีดจำกัด ระดับน้ำมันควรจะอยู่ประมาณจุดที่ตลับลูกปืนจมอยู่ในน้ำมันตลอดเวลา ประมาณ 30 – 50%

ถ้าเป็นงานที่ทำงานด้วยความเร็วสูง แต่รับโหลดน้อยๆ เช่น ในกรณีของเครื่องเจียรนัยการหล่อลื่นด้วยละอองหรือหยดน้ำมันก็เป็นการเพียงพอแล้ว วิธีการเช่นนี้ ทำได้โดยการหยดน้ำมันลงไปในตัวลูกปืนหรือระหว่างชิ้นส่วนเคลื่อนไหว เพื่อทำให้เกิดละอองน้ำมันขึ้นในเสื้อรองรับตลับลูกปืน สำหรับใช้ในการหล่อลื่นต่อไป

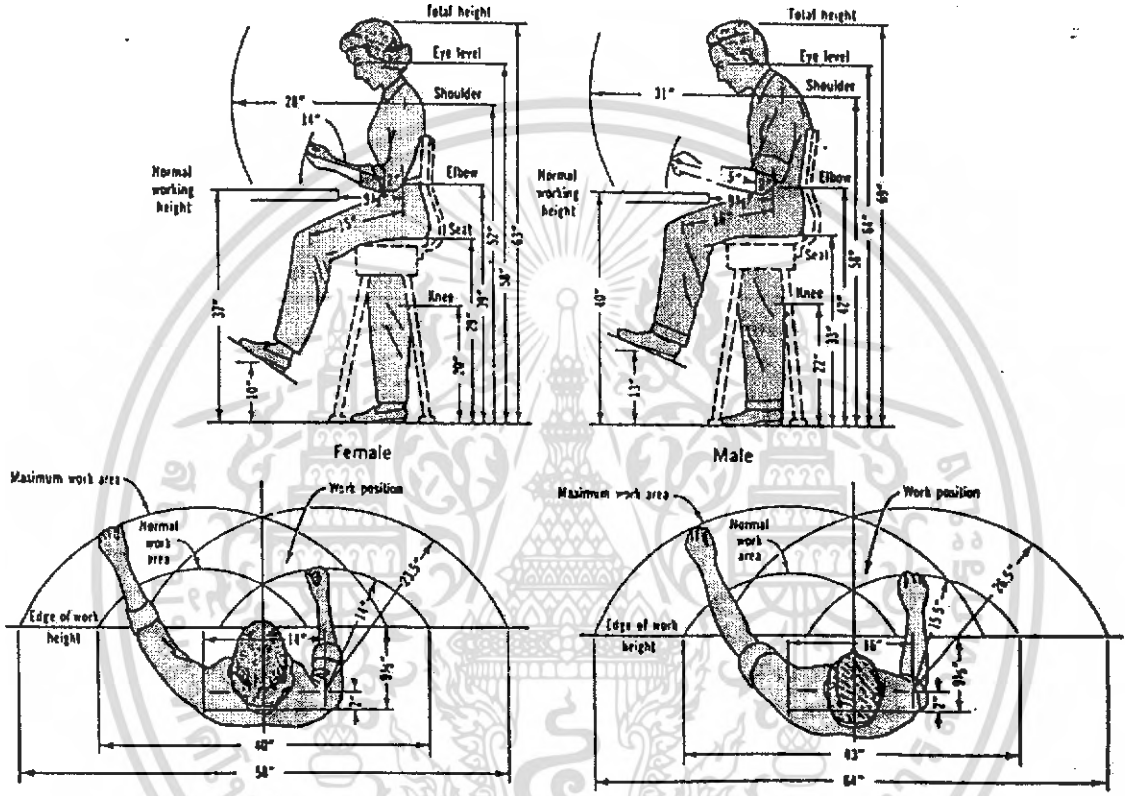
สำหรับงานที่มีความเร็วตั้งแต่ปานกลางไปจนสูง วิธีการหล่อลื่นทำโดยการฉีดไอน้ำมันหล่อลื่นเข้าไป วิธีการนี้ทำโดยการทำน้ำมันให้แตกเป็นฝอย แล้วใช้อากาศที่มีความดันสูง อัดไอน้ำมันนี้ออกไปยังพื้นผิวที่ต้องการหล่อลื่นโดยตรง

71980

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ความเหมาะสมของเครื่องจักรกับผู้ใช้งาน

เนื่องจากการออกแบบและสร้างเครื่องจักรขึ้นมาใช้นั้นจะต้องคำนึงถึงด้วยว่าผู้ใดเป็นผู้ที่ใช้งานกับเครื่องจักร เพื่อความเหมาะสมในการทำงานและการทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้องทำให้ผู้ใช้งานมีความถนัดและคุ้นเคยกับท่าทางในขณะที่ต้องปฏิบัติงานกับเครื่องจักรเป็นเวลานานๆ การออกแบบเครื่องจักรจึงต้องคำนึงถึงลักษณะการเคลื่อนที่ทางกายภาพของผู้ที่ใช้เครื่องจักรในหลายๆด้าน เช่น ความสูงในท่าทางการยืน ระยะเอื้อมของวงแขน



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะท่าทางการทำงานกับเครื่องจักรที่เหมาะสม

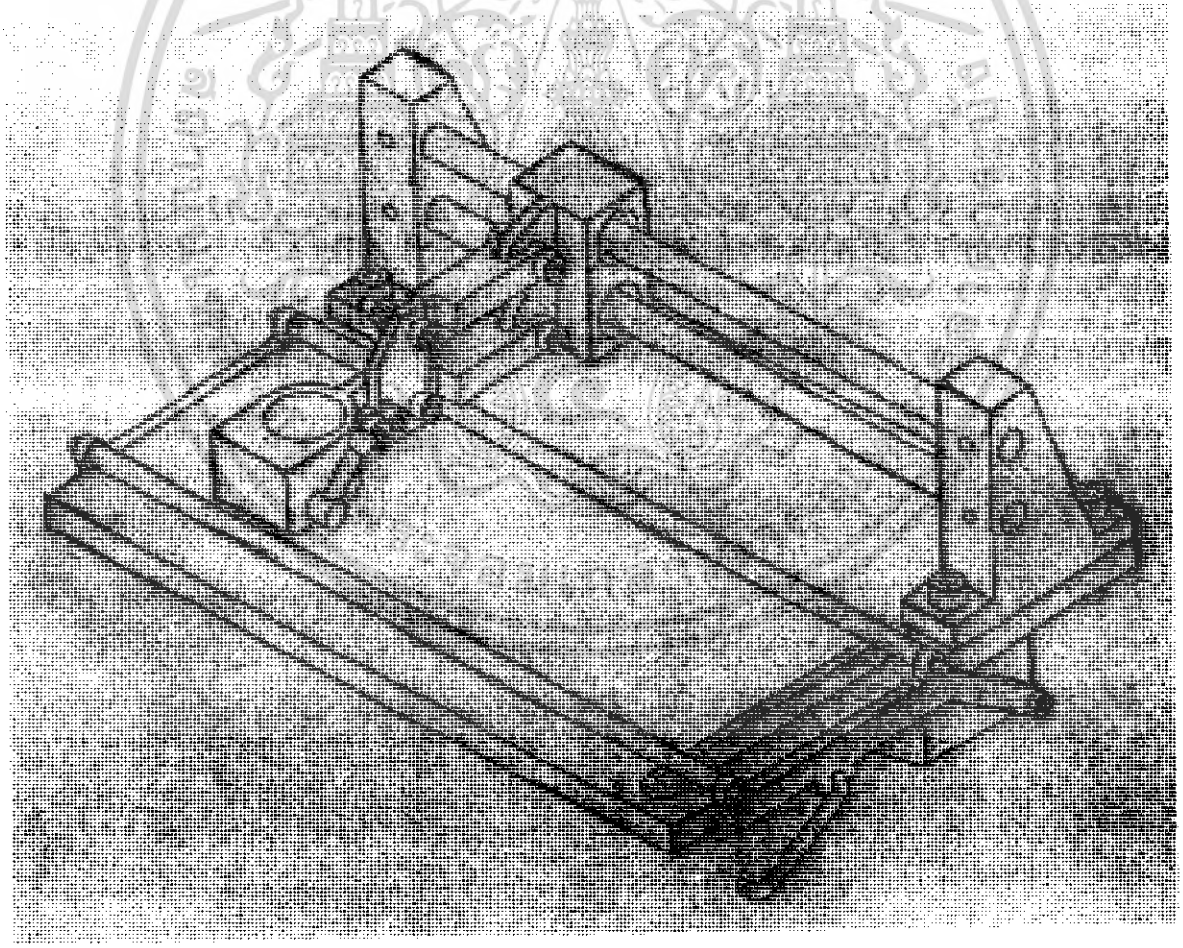
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 ด้านโครงสร้าง

3.1.1 ภาพสเกต / แบบจำลองเครื่องจักรกล

ในส่วนนี้เป็นการเริ่มดำเนินการสร้างตัวเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ โดยเริ่มจากการกำหนดลักษณะหน้าที่ และฟังก์ชั่นการทำงานของตัวเครื่องจักรกลว่าควรมีลักษณะอย่างไร จากนั้นทำการกำหนดแบบอย่างคร่าวๆด้วยการสเกต หรือวาดแบบจำลองขึ้นมาเพื่อดูถึงหลักความเป็นจริงในการทำงาน ดังนั้นผู้ทำการออกแบบจึงทำการออกแบบในขั้นต้นดังรูปที่ 3.1

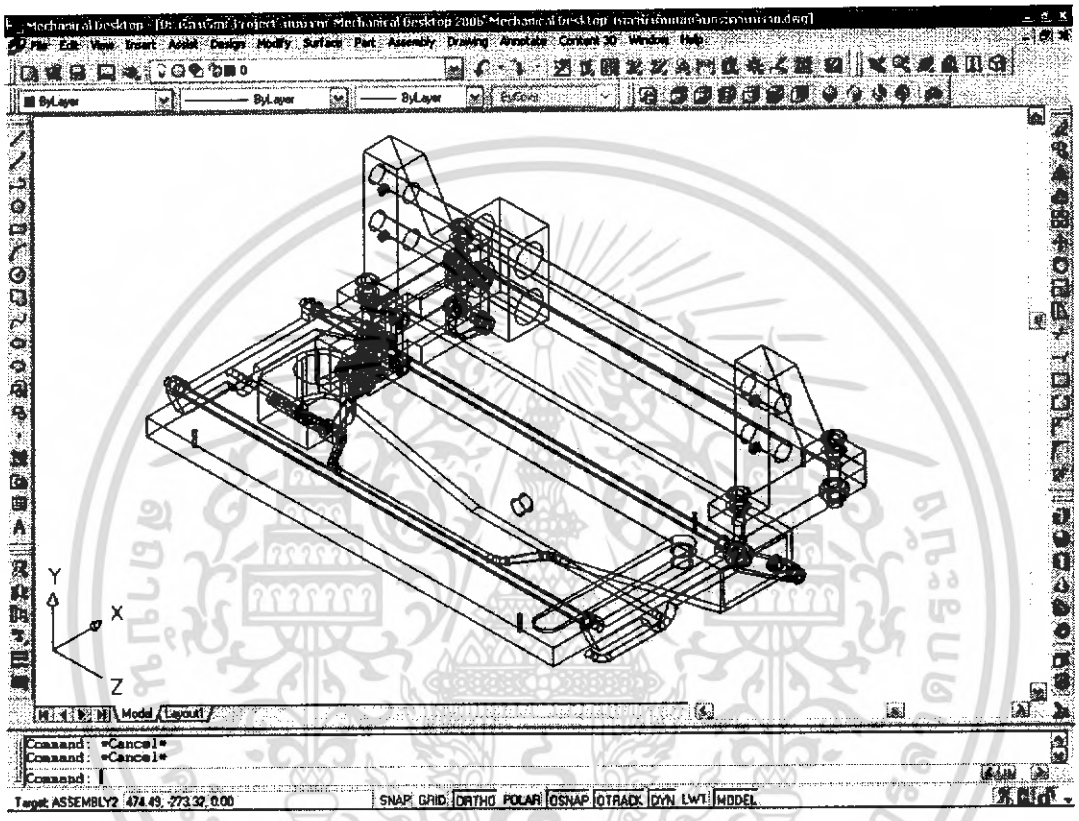


รูปที่ 3.1 แสดงภาพวาดแบบจำลองของเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ออกแบบโครงสร้างของเครื่องจักรกลด้วยโปรแกรม SolidWorks และโปรแกรม Mechanical Desktop

หลังจากได้ภาพสเกตของตัวเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบแบบคร่าวๆแล้ว จึงทำการออกแบบโครงสร้างของเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบด้วยโปรแกรมโซลิดเวิค (SolidWorks) และโปรแกรมแมคคานิคอลเดสทอป (Mechanical Desktop) จนได้รูปแบบของโครงสร้างเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบขั้นสุดท้ายดังรูปที่ 3.2 เพื่อใช้ดำเนินการสร้างต่อไป

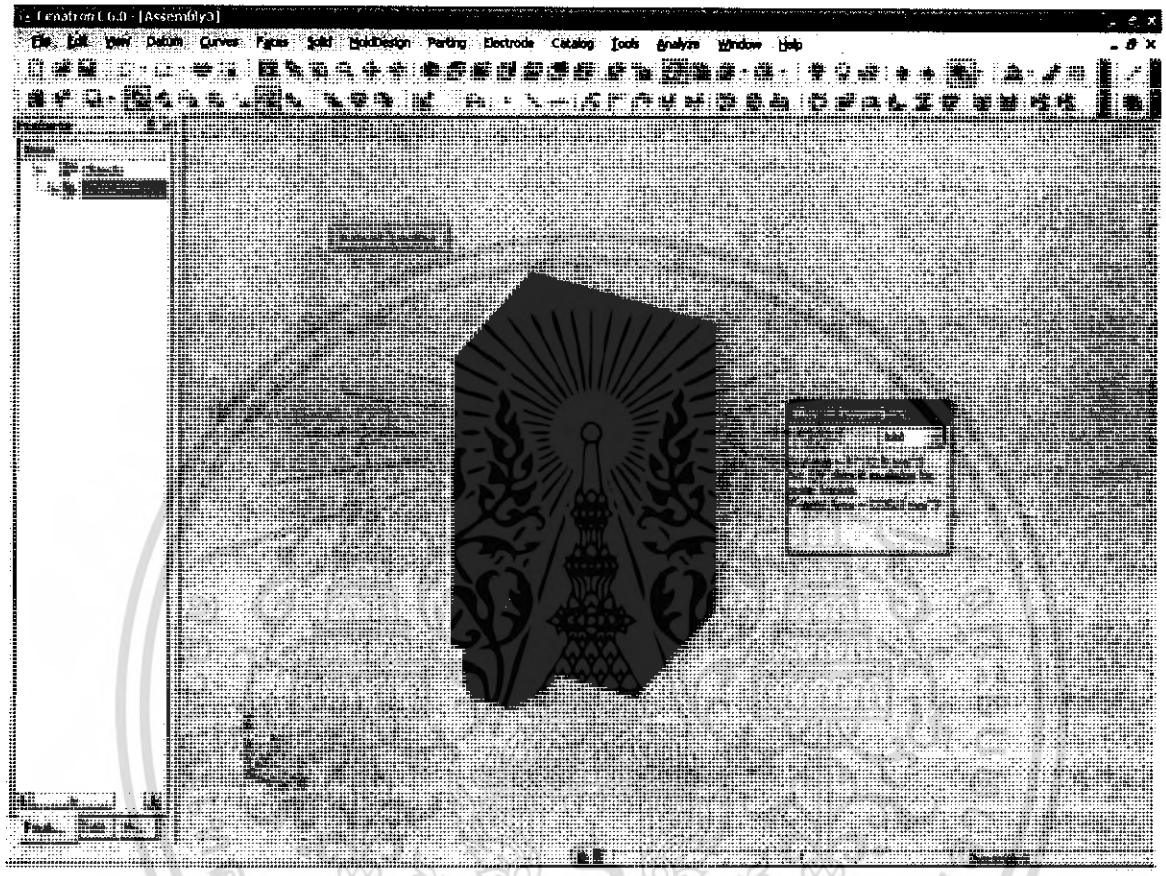


รูปที่ 3.2 แสดงการออกแบบโครงสร้างด้วยโปรแกรม Mechanical Desktop 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การวิเคราะห์แบบด้วยโปรแกรม Cimatron E 6.0

การออกแบบของแต่ละชิ้นส่วนนั้นจะต้องคำนึงถึงขนาดและน้ำหนักรองรับที่ชิ้นส่วนอื่นๆจะต้องรับภาระร่วมกัน เพื่อความสมดุลของแต่ละชิ้นส่วนนั้นจึงต้องใช้การวิเคราะห์จากรูปร่างดังแสดงในรูปที่ 3.3

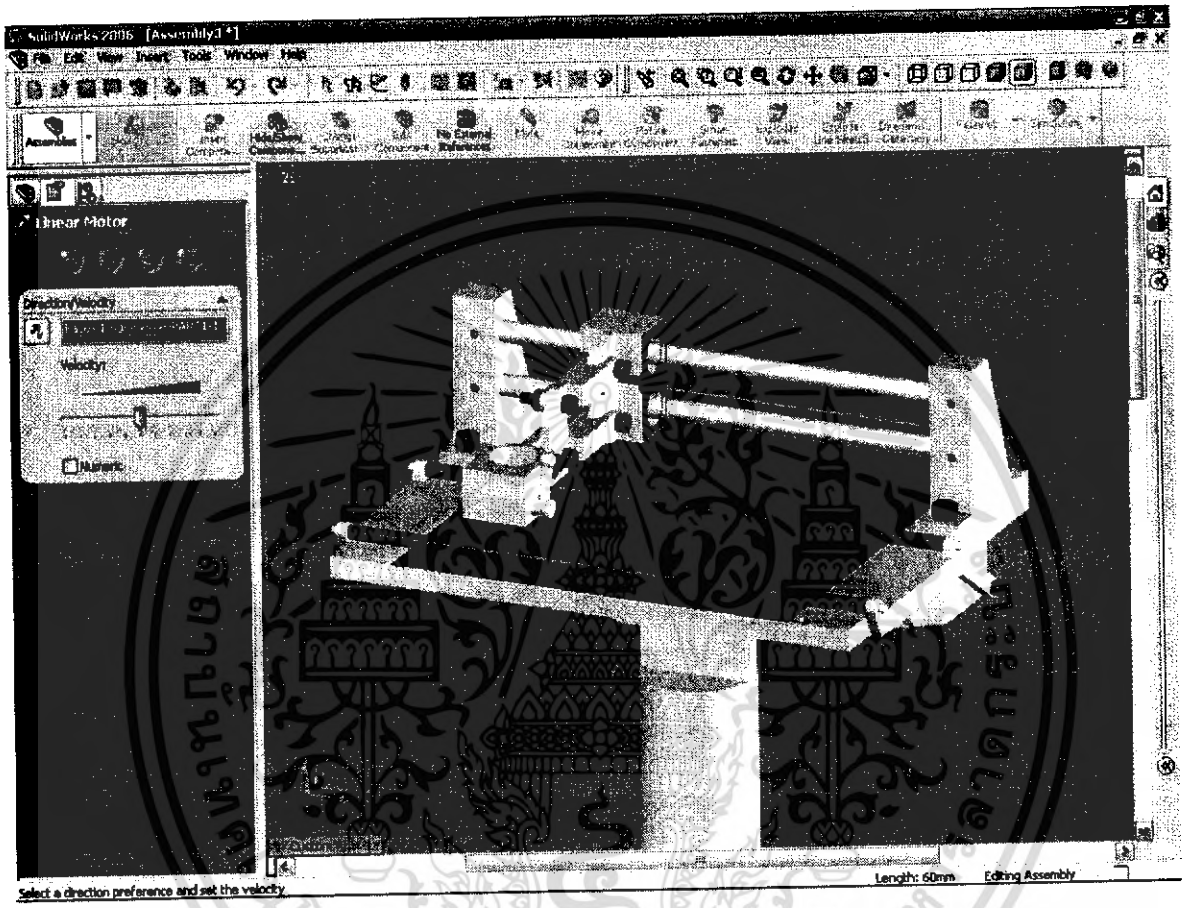


รูปที่ 3.3 แสดงการวิเคราะห์ชิ้นส่วนด้วยโปรกรม Cimatron E 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การจำลองการทำงานของเครื่องจักรด้วยโปรแกรม SolidWorks 2006

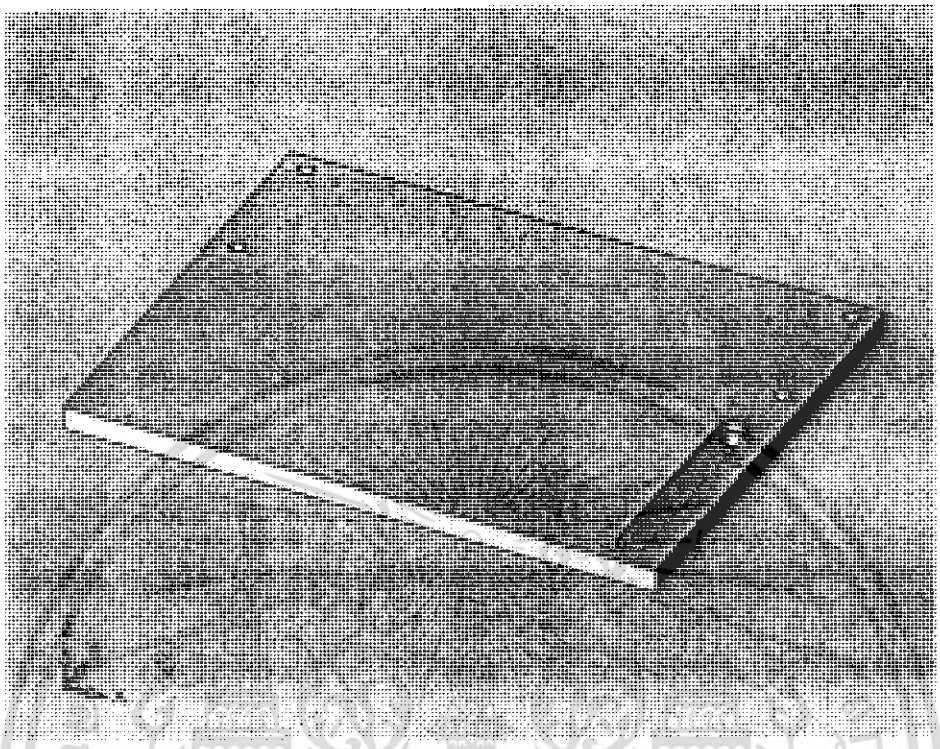
เนื่องจากการสร้างเครื่องจักรนั้นจำเป็นจะต้องทำการจำลองการทำงานก่อน เพื่อดูว่าเครื่องจักรสามารถทำงานได้ตามฟังก์ชั่นที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการออกแบบหรือไม่ โดยการใช้โปรแกรม (SolidWorks) ในการจำลองทำงาน (Simulation) เพื่อดูลักษณะการทำงานจริงของเครื่องจักรดังแสดงในรูปที่ 3.4



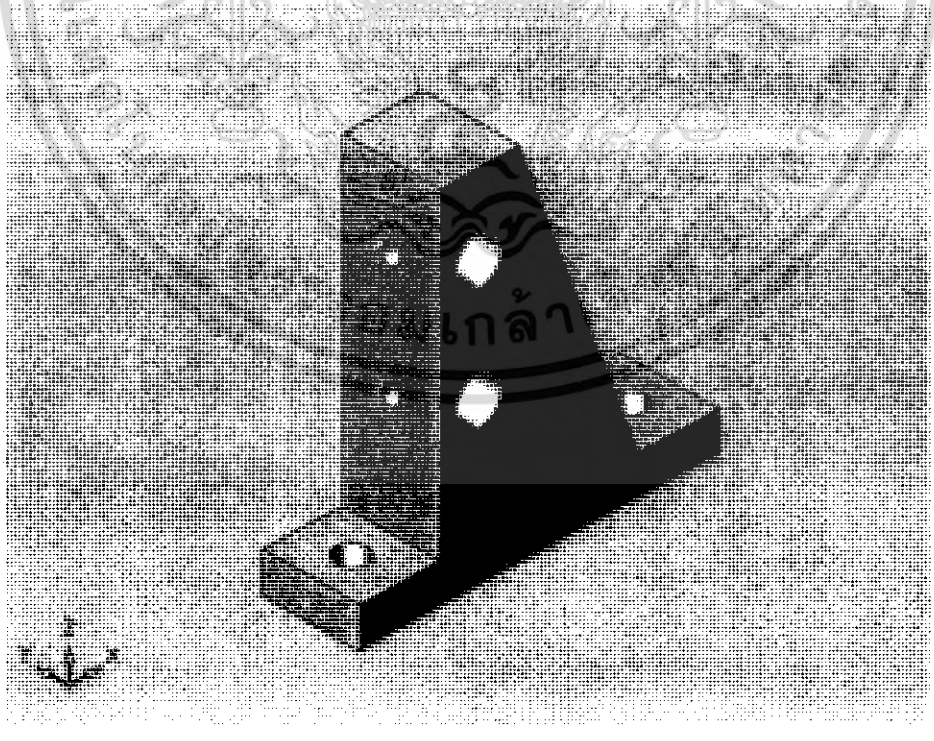
รูปที่ 3.4 แสดงการจำลองการทำงานของเครื่องจักรด้วยโปรแกรม SolidWorks 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 ภาพรายละเอียดแบบแยกชิ้นส่วนของโครงสร้างสำหรับการขึ้นรูป

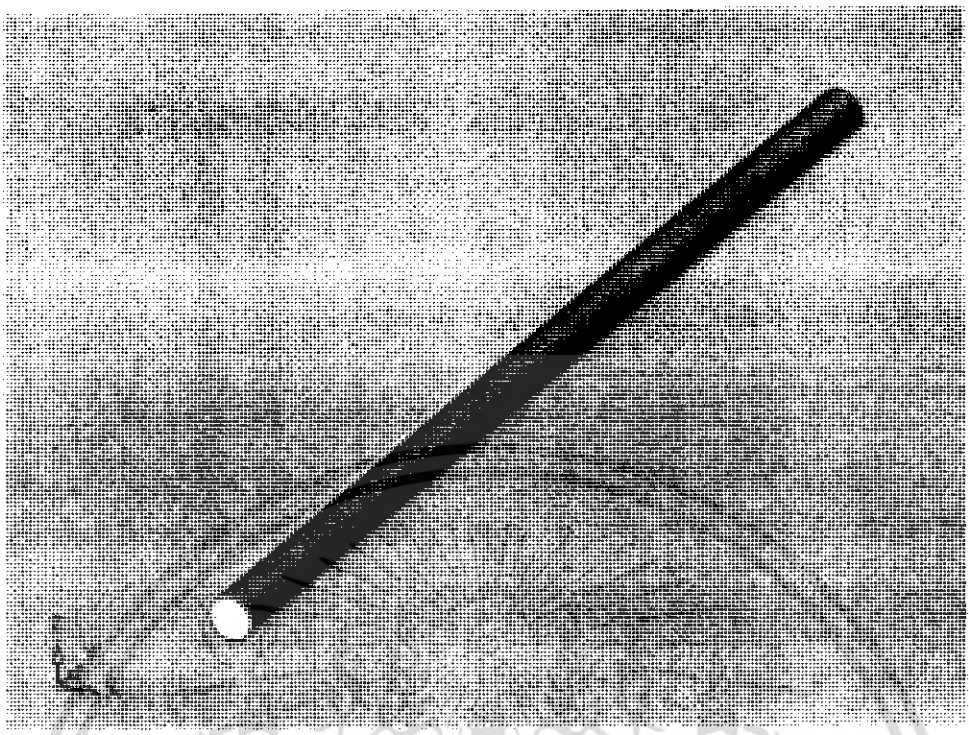


รูปที่ 3.5 แสดงฐานเครื่องจักร

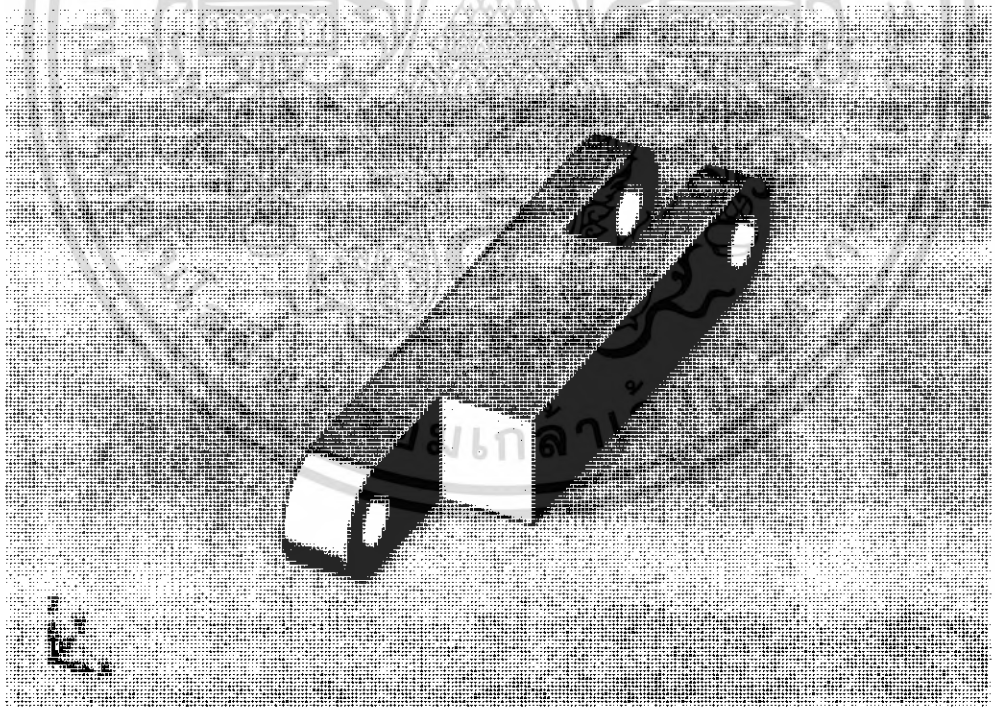


รูปที่ 3.6 แสดงฐานวางเพลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

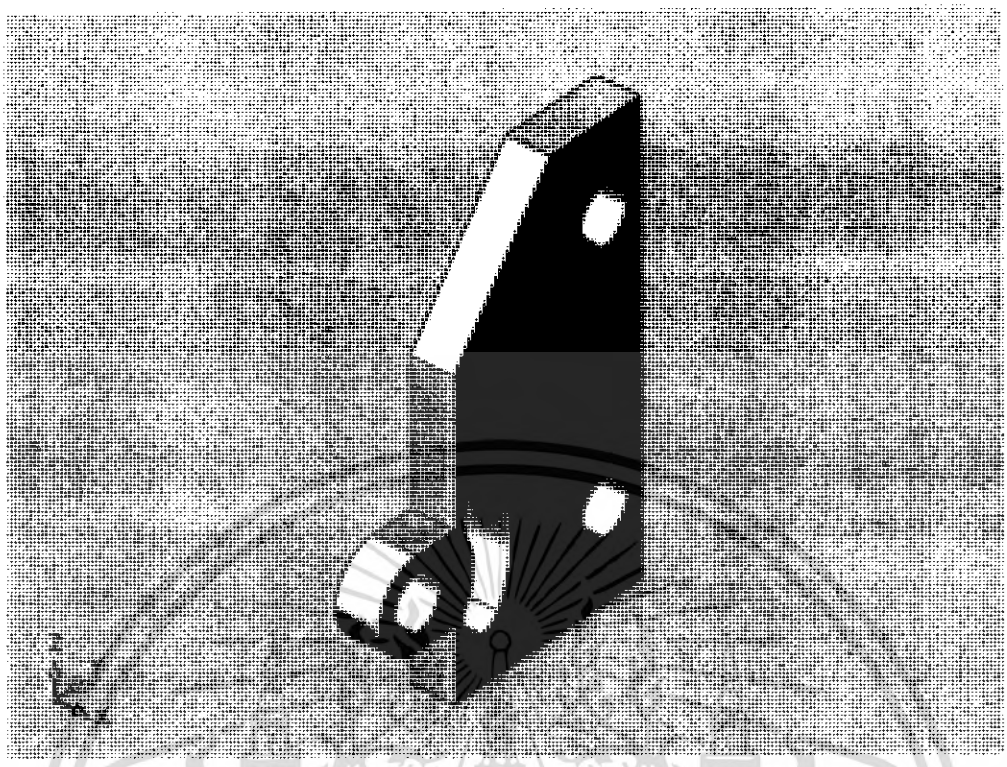


รูปที่ 3.7 แสดงเพลาของเครื่องจักร

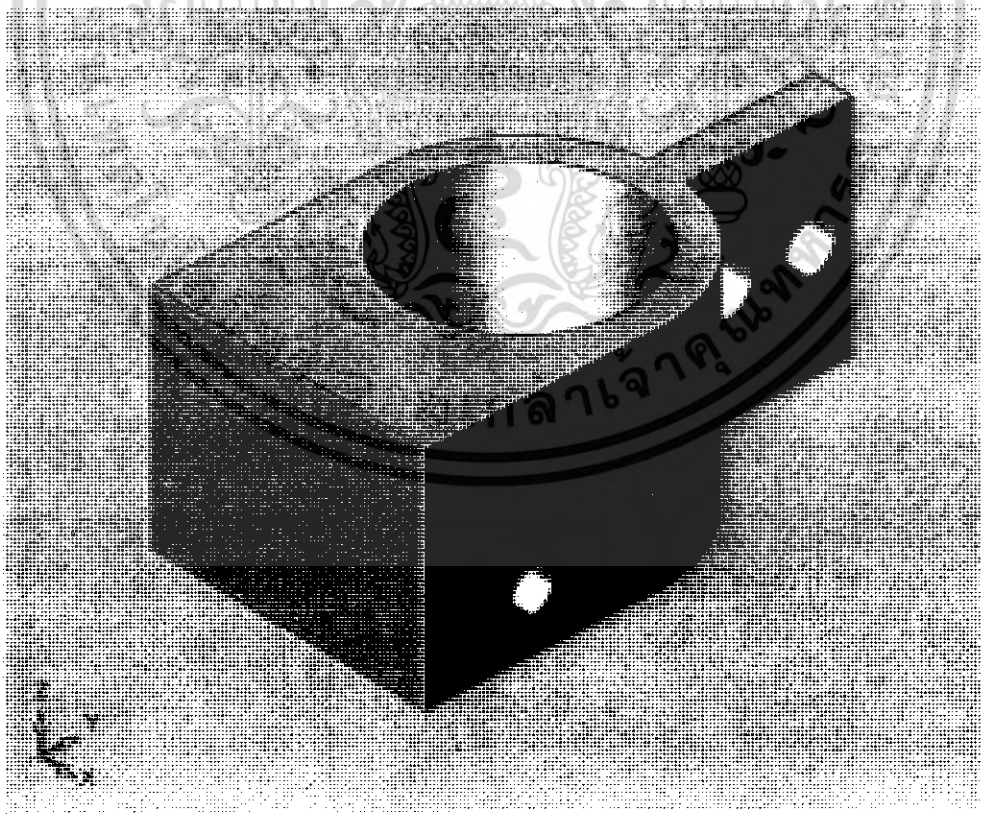


รูปที่ 3.8 แสดงแขนของเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

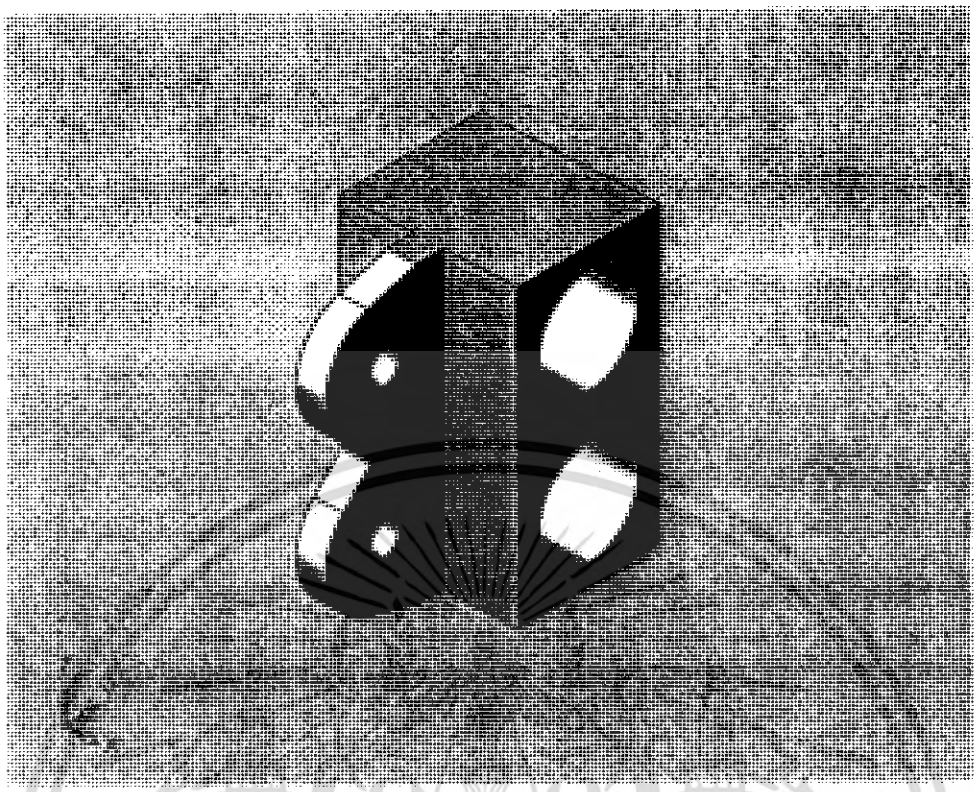


รูปที่ 3.9 แสดงตัวปรับองศา

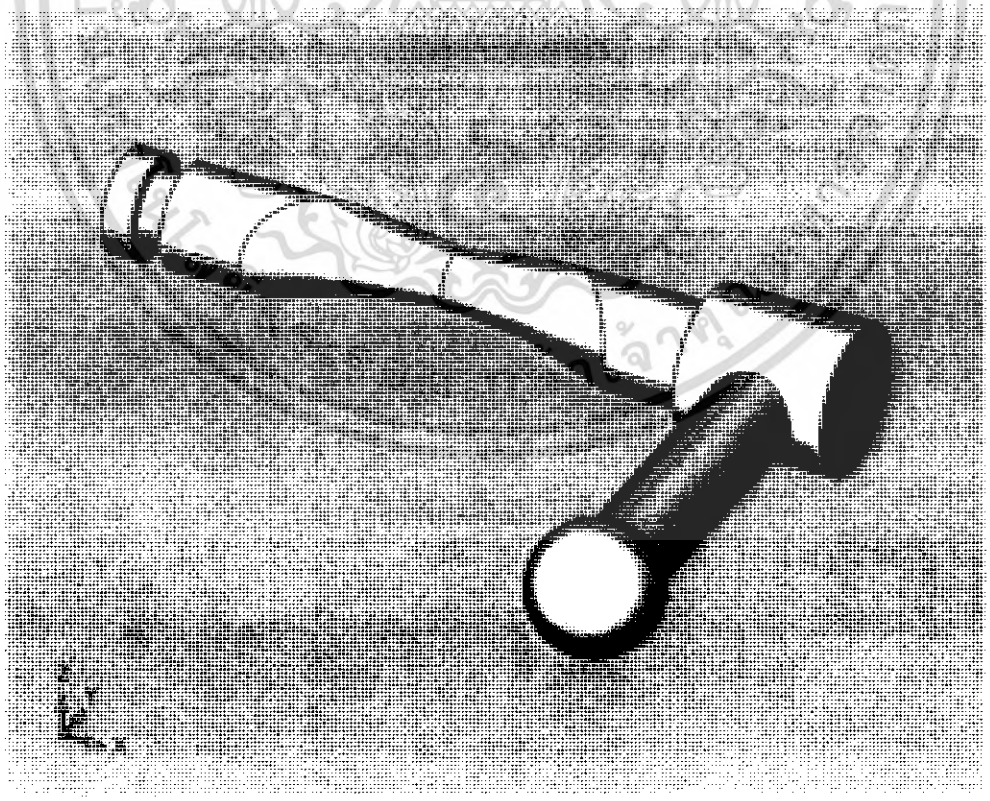


รูปที่ 3.10 แสดงหัวจับชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

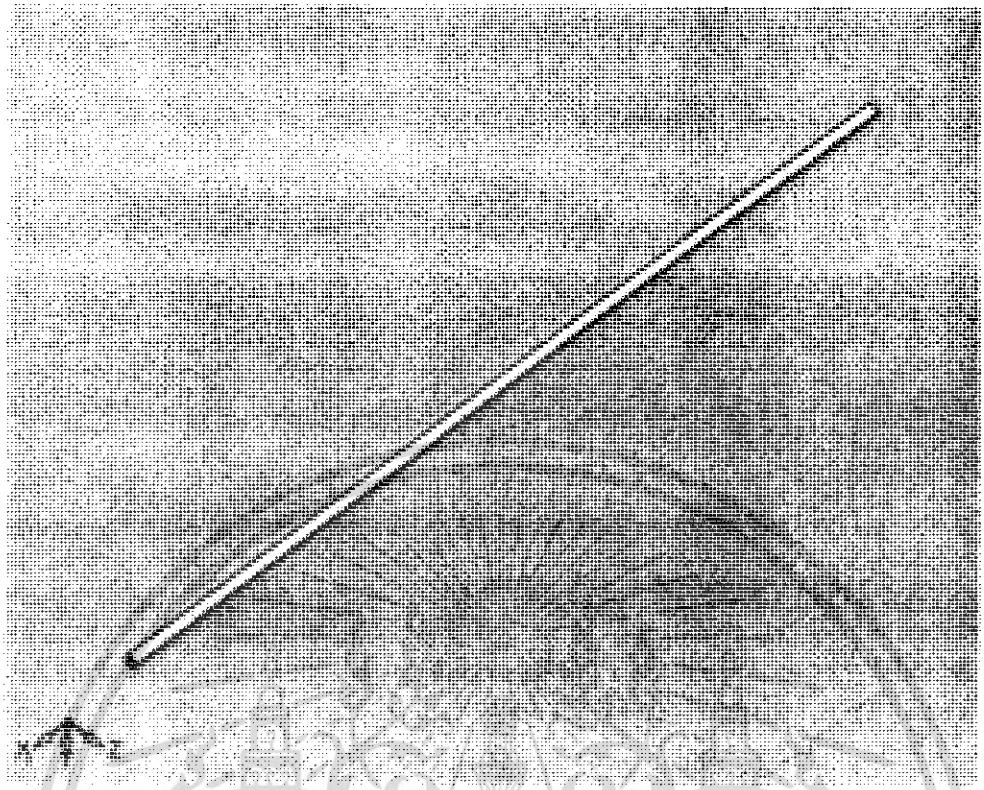


รูปที่ 3.11 แสดงปลอกสวม Linear Bearing

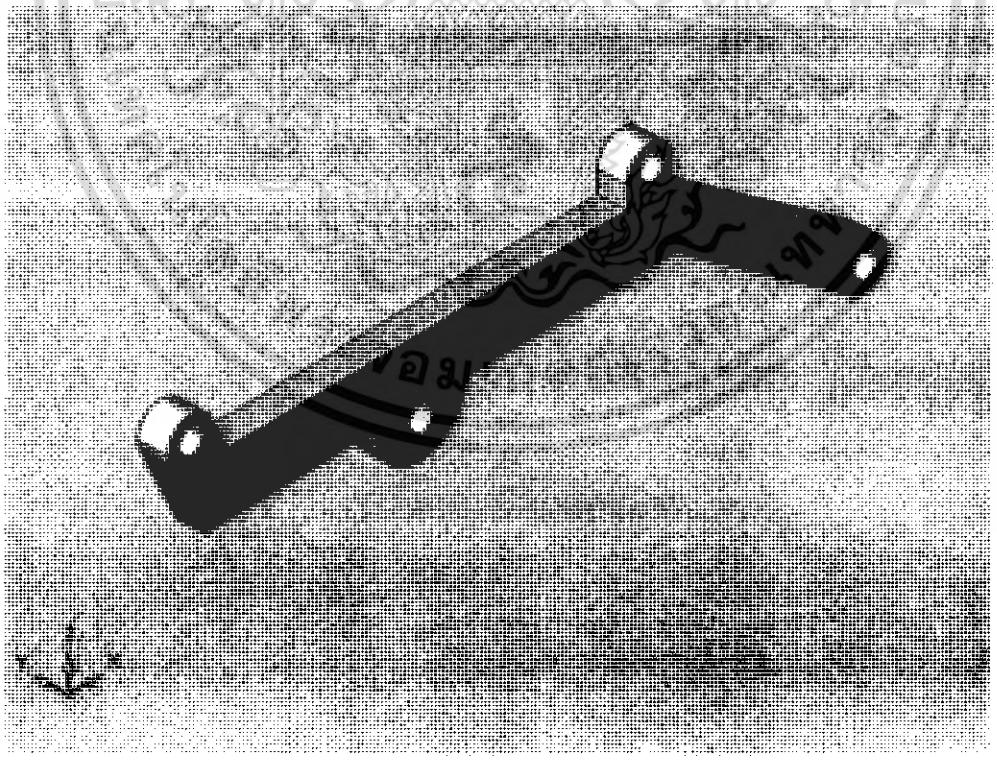


รูปที่ 3.12 แสดงตัวล็อคชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

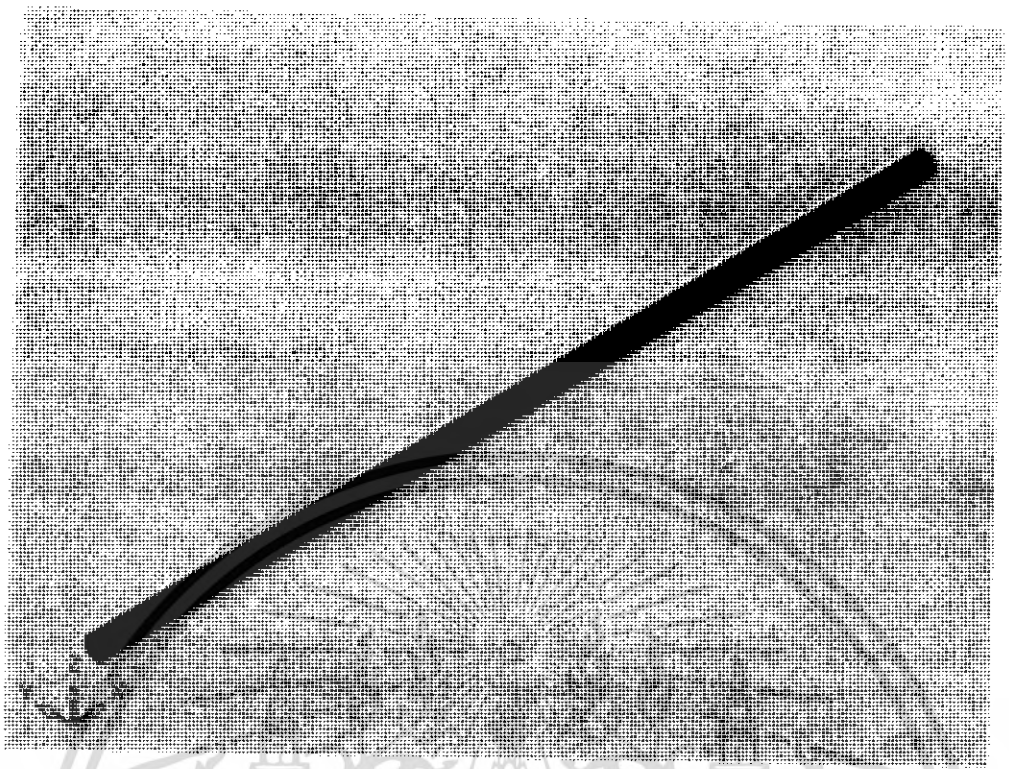


รูปที่ 3.13 แสดงเพลาตัวล็อคกระดาษทราย

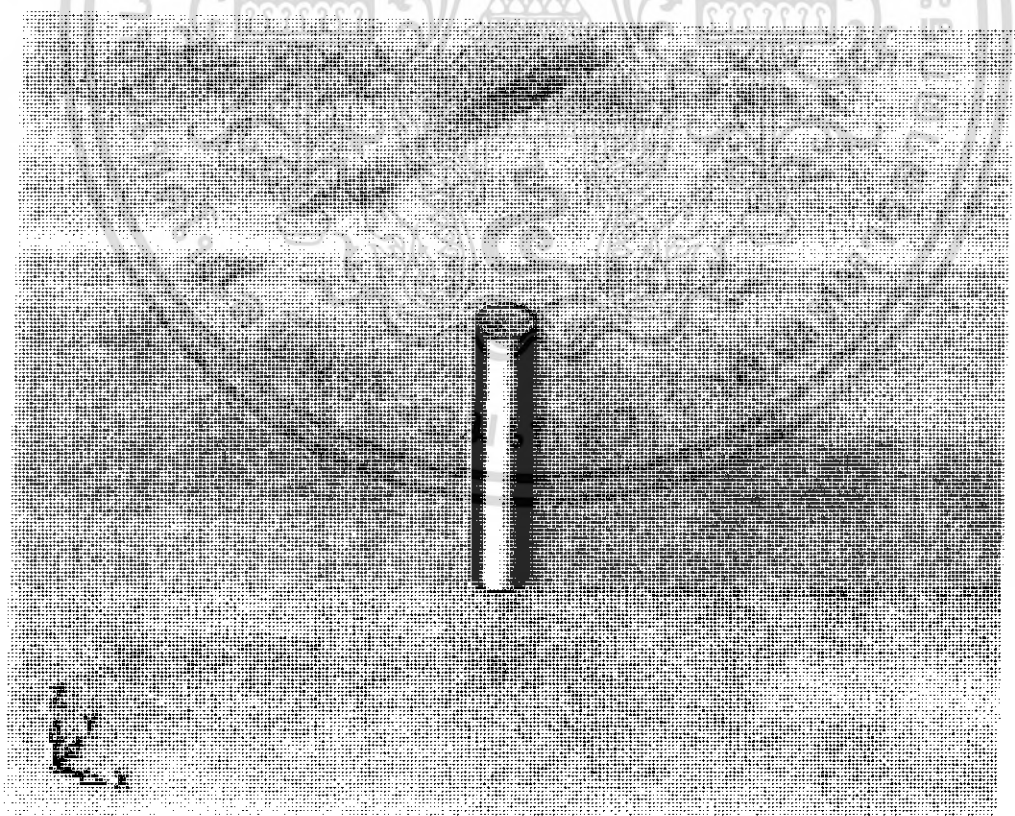


รูปที่ 3.14 แสดงตัวล็อคตัวจับกระดาษทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

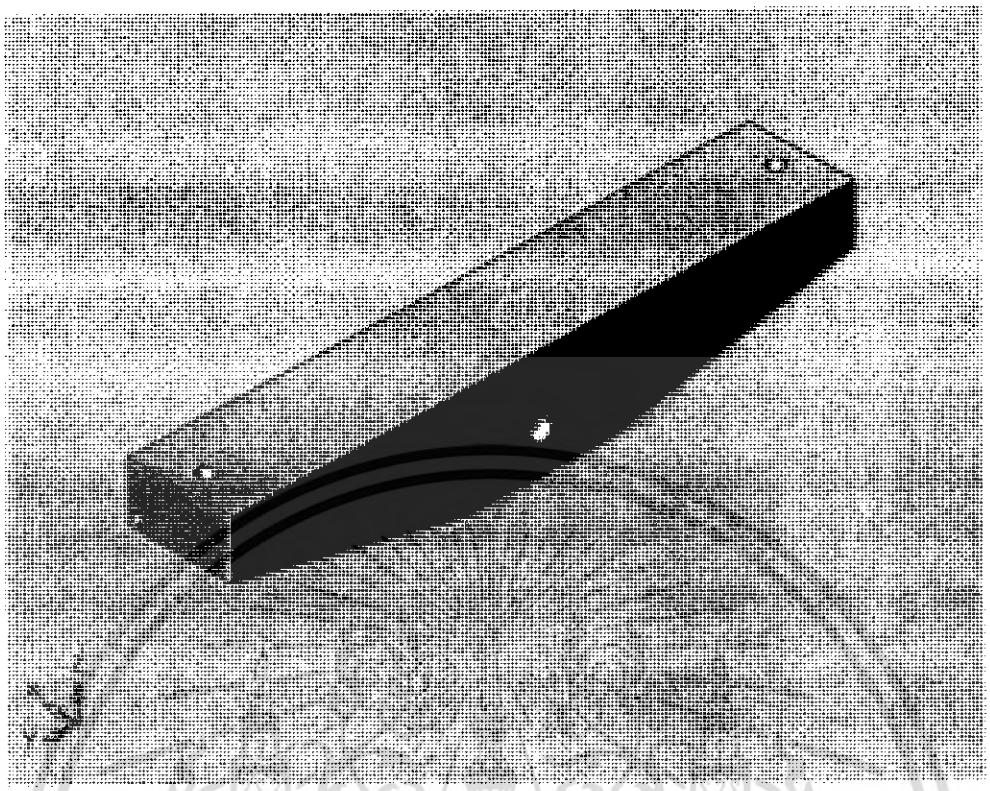


รูปที่ 3.15 แสดงลูกยางสวมเพลาล็อคกระดาษทราย

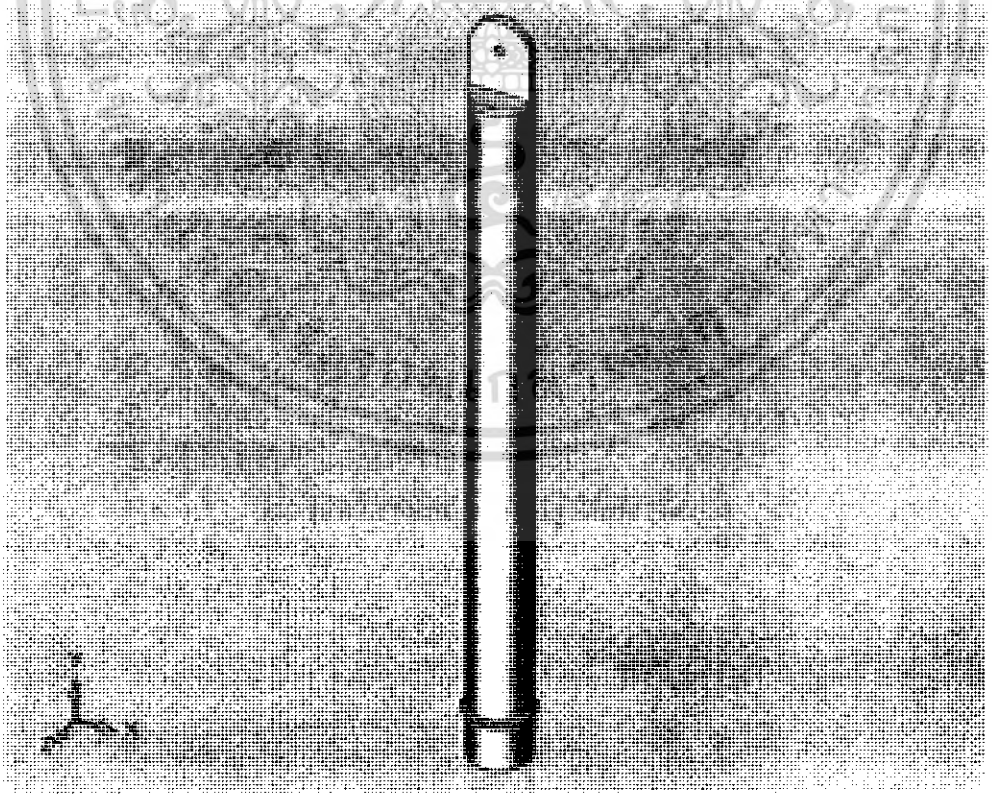


รูปที่ 3.16 แสดงปริ๊นล็อคกระดาษทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

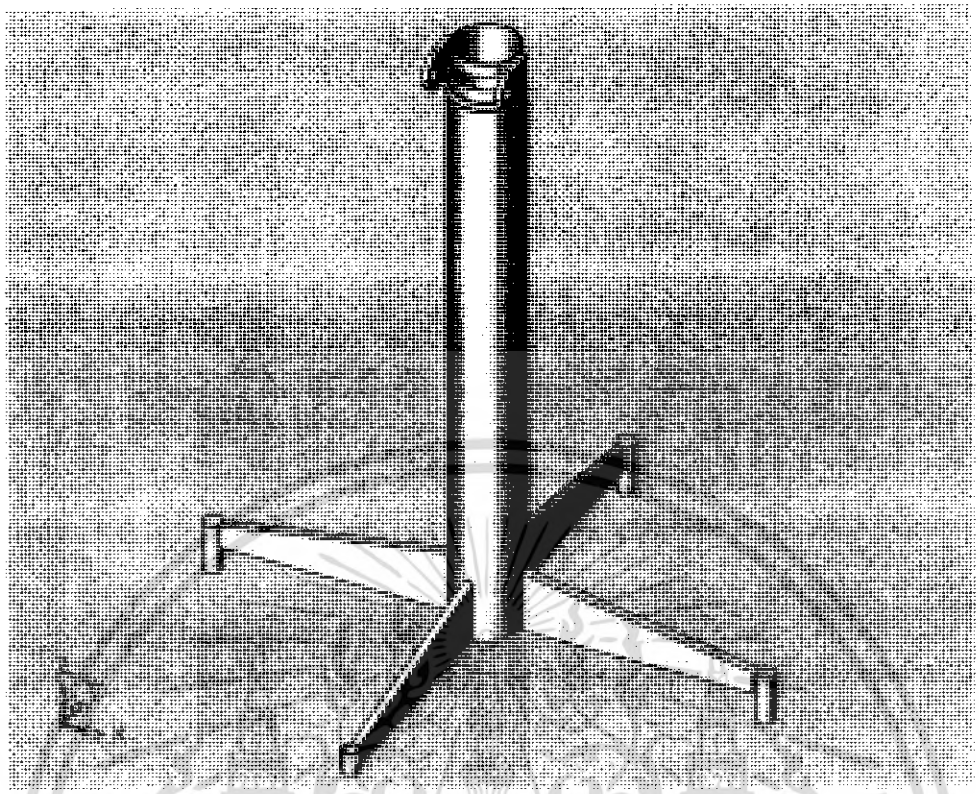


รูปที่ 3.17 แสดงแท่นรองฐานเครื่องขัด

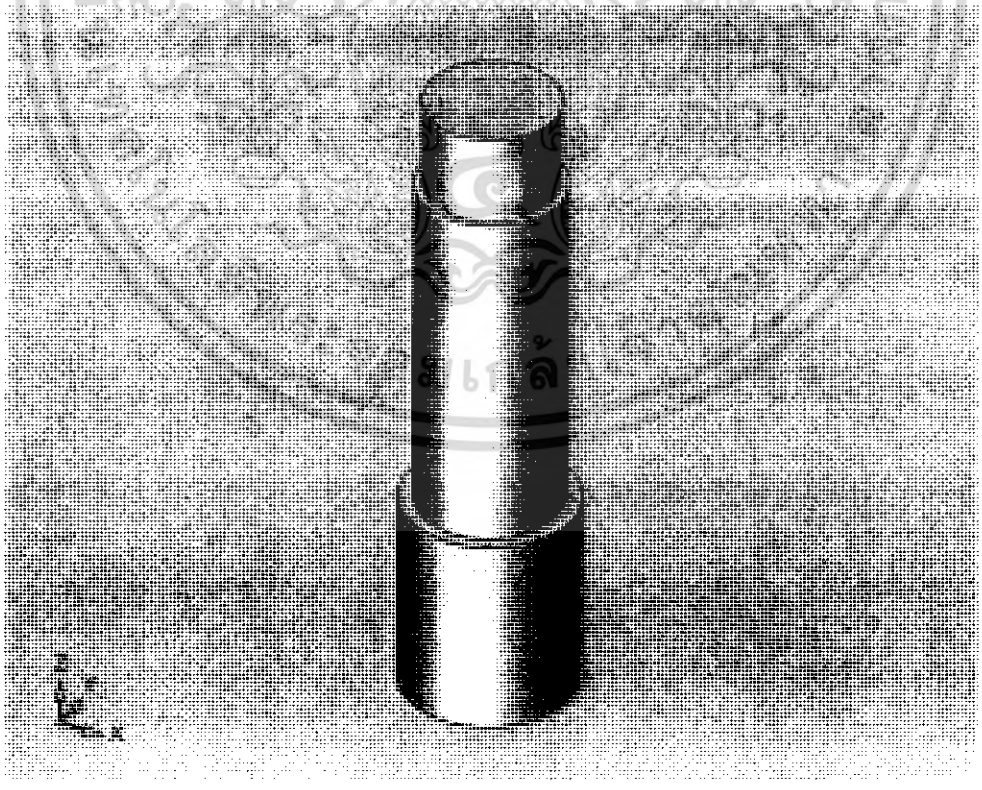


รูปที่ 3.18 แสดงแกนสไลด์ปรับระดับโต๊ะวางเครื่องจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

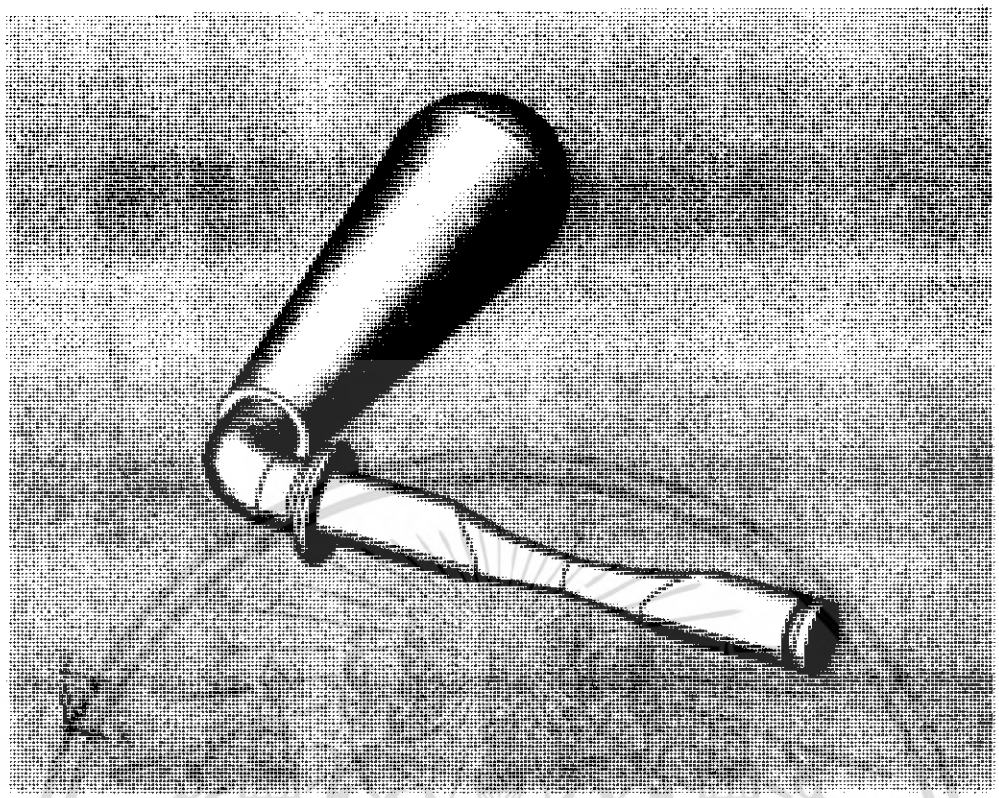


รูปที่ 3.19 แสดงขาโต๊ะวางเครื่องจักร



รูปที่ 3.20 แสดงตัวปรับระดับขาโต๊ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 แสดงตัวล็อคแกนสไลด์ปรับระดับขาโต๊ะ

รูปที่ 3.22 แสดงลูกยางรองขาโต๊ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 ศึกษาวัสดุที่จะนำมาใช้

เนื่องจากเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบแบบที่พัฒนาขึ้นมาใหม่นั้น ต้องมีการสัมผัสกับน้ำอยู่ตลอดเวลาจึงต้องคัดเลือกวัสดุที่ทนต่อการเกิดการกัดกร่อนจากน้ำจนทำให้เกิดสนิม เพราะฉะนั้นจึงต้องเลือกใช้วัสดุจำพวกที่มีส่วนผสมของธาตุที่ป้องกันการเกิดสนิม ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้นั้นจะเป็นวัสดุอลูมิเนียมและสแตนเลส สามารถดูได้จากตารางสรุปการเลือกใช้วัสดุที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการเลือกใช้วัสดุของแต่ละชิ้นส่วน

ชื่อชิ้นส่วน	วัสดุ	เกรด
ฐาน	อลูมิเนียม	6061
เพลาของเครื่องจักร	สแตนเลส	304
ฐานวางเพลา	อลูมิเนียม	6061
ปลอกสวม LB	อลูมิเนียม	6061
แขน	อลูมิเนียม	6061
ตัวปรับองศา	อลูมิเนียม	6061
หัวจับชิ้นงาน	อลูมิเนียม	6061
ตัวล็อคชิ้นงาน	สแตนเลส	-
ที่วางฐานเครื่องขัด	เหล็ก	-
เพลาบังคับแขนจับกระดาษทราย	สแตนเลส	-
ตัวล็อคตัวจับกระดาษทราย	เหล็ก	-
เพลาตัวล็อคกระดาษทราย	สแตนเลส	-
ลูกยางสวมเพลาล็อคกระดาษทราย	ยาง	-
ปริ้นล็อคกระดาษทราย	สแตนเลส	-
ฐานโต๊ะวางเครื่องจักร	เหล็ก	-
เพลาสไลด์	เหล็ก	-
ตัวล็อคเพลาสไลด์	เหล็ก	-
ตัวปรับระดับขาโต๊ะ	เหล็ก	-
ลูกยางรองขาโต๊ะ	ยาง	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 กำหนดลักษณะของเพลา

การที่จะต้องกำหนดขนาดของเพลานั้นจะต้องคำนึงถึง 3 ปัจจัยหลักๆในการกำหนดดังนี้

3.2.1 การกำหนดความยาวของเพลา

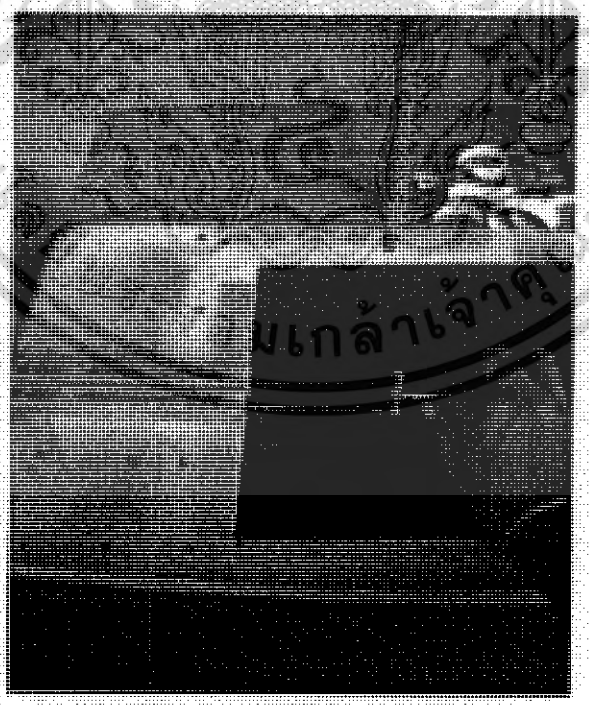
ความยาวของเพลานั้นจะถูกกำหนดจากขนาดของกระดาษทรายขนาดมาตรฐานที่มีอยู่ทั่วไป โดยมีขนาดเท่ากับ 27 มิลลิเมตร ซึ่งความยาวของเพลานั้นจะต้องยาวกว่าเพียงเล็กน้อย เนื่องจากจะต้องมีส่วนที่ยื่นออกมาวางกับฐานวางเพลา

3.2.2 การเลือกชนิดของวัสดุ

จากลักษณะการทำงานของเครื่องจักรซึ่งต้องมีน้ำเป็นสารหล่อลื่นในขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงานอยู่ อาจจะทำให้ตัวของเพลาถูกน้ำกระเด็นมาโดนและเมื่อปล่อยทิ้งไว้อาจจะทำให้เกิดปฏิกิริยากับอากาศจนกลายเป็นสนิมจับอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของเพลาจนทำให้เกิดความฝืดไม่สามารถเลื่อน หรือขยับปลอกเลื่อนได้จึงต้องเลือกวัสดุที่จะนำมาใช้ให้มีคุณสมบัติด้านทานการสึกหรอและการกัดกร่อน เช่น สแตนเลส หรือโลหะที่มีส่วนผสมของโครเมียม

3.2.3 การทดสอบหาขนาดของแรงที่เกิดขึ้นกับเพลา

ในการคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาที่เหมาะสมนั้นจะต้องคำนึงถึงแรงที่มากระทำต่อเพลาในขณะที่กำลังใช้งานอยู่ โดยจะต้องทำการทดสอบค่าแรงกระทำโดยการจำลองการทำงานตามลักษณะการใช้งานจริง คือ การเคลื่อนที่ตามแนวระนาบไปในทิศทางเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 แสดงการทดสอบหาค่าของแรงที่กระทำ

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบค่าด้วยเครื่องชั่งสปริงขนาด 1 กิโลกรัม จำนวน 2 ตัววางขนานกันพบว่าค่าของแรงที่กระทำต่อเพลาของเครื่องจักรทั้งหมดมีค่าดังแสดงในตารางที่ 3.2

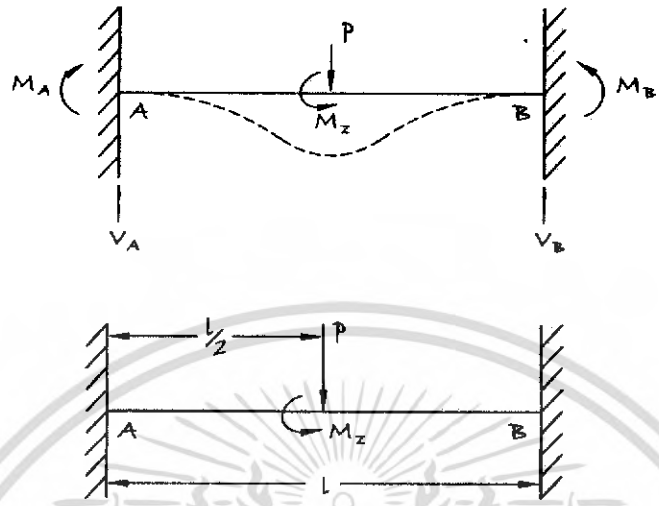
ตารางที่ 3.2 แสดงค่าการทดสอบค่าของแรงที่กระทำต่อเพลาขณะใช้งาน

ค่าการทดสอบของแรงที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน							
คนที่	ขนาดแรง (N)			คนที่	ขนาดแรง (N)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	17.1	12.9	16	13	16.7	15.3	15.6
2	12	16.9	15	14	16.3	15.4	16.8
3	11.8	12.5	13.8	15	15.3	15.3	16.7
4	12.8	15.6	14.1	16	14.8	12.5	13.4
5	17.1	12.9	16	17	17.4	16.2	19
6	12	16.8	15	18	15.5	12.1	14.4
7	11.8	12.5	13.8	19	16.2	16.8	15.1
8	12.8	15.6	14.1	20	14.9	12.3	15.7
9	11.8	9.6	10.2	21	16.5	13.1	11.4
10	10.3	10.3	13.1	22	17	15.8	17.8
11	13.5	13.1	14.3	23	16.7	14.3	15.6
12	13.5	16.5	18.5	24	13.2	12.5	14.7

เมื่อทำการทดสอบค่าของแรงที่ใช้ในขณะทำการใช้งานแล้วเลือกค่าสูงสุดที่ได้จากการทดสอบไปทำการคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยวิธีโมเมนต์ของพื้นที่ (Moment-Area)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลา

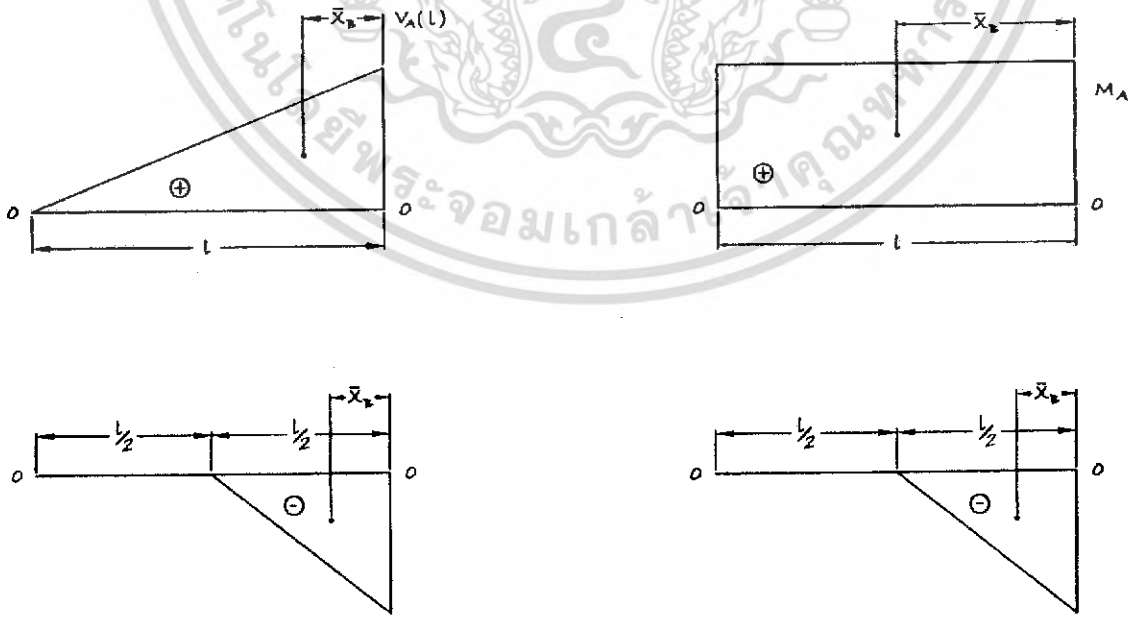


รูปที่ 3.24 แสดงภาพประเภทของแรงที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักร

จากสมการ

$$EI\theta_{AB} = (A_{rea})_{AB} = 0 \qquad \text{สมการ 3.1}$$

พิจารณารูปของคานด้วยวิธีโมเมนต์ของพื้นที่รอบจุด B ได้ดังนี้



รูปที่ 3.25 แสดงพื้นที่ที่ถูกแรงกระทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

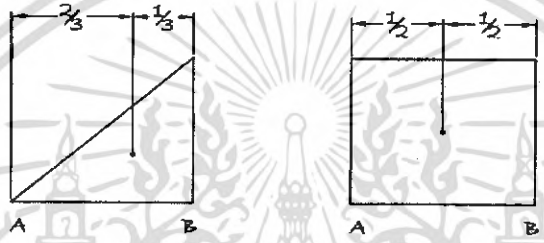
จะได้สมการ

$$\frac{1}{2}V_A l(l) + M_A(l) - \frac{1}{2}(\frac{Pl}{2})(\frac{l}{2}) - M_Z(\frac{l}{2}) = 0$$

$$\frac{1}{2}V_A l^2 + M_A l - \frac{Pl^2}{8} - \frac{M_Z l}{2} = 0 \qquad \text{สมการ 3.2}$$

จากสมการ

$$EI\delta_{B/A} = (Area)_{B\text{-}A} \cdot \overline{X}_B \qquad \text{สมการ 3.3}$$



รูปที่ 3.26 แสดงแรงกระทำกับจุดเซนทรอยด์

จะได้

$$\frac{1}{2}V_A l^2(\frac{l}{2}) + M_A l(\frac{l}{2}) - \frac{Pl^2}{8}(\frac{1}{3}\cdot\frac{l}{2}) - \frac{M_Z l}{2}(\frac{1}{2}\cdot\frac{l}{2}) = 0$$

$$\frac{1}{6}V_A l^3 + \frac{M_A l^2}{2} - \frac{Pl^3}{48} - \frac{M_Z l^2}{8} = 0 \qquad \text{สมการ 3.4}$$

จากสมการที่ (3.2) และ (3.4) แก้สมการหาค่าของ V_A และ M_A จากนั้นหาผลรวมแรงแนวแกน Y จะได้

$$\sum Fy = 0$$

$$V_A + V_B = P \qquad \text{สมการ 3.5}$$

เมื่อแก้สมการที่ (3.5) จะได้ค่าของ V_B และหาผลรวมโมเมนต์รอบจุด A จะได้

$$\sum M_A = 0$$

$$M_Z + M_B + V_B(l) - P(\frac{l}{2}) = 0 \qquad \text{สมการ 3.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้สมการที่ (3.6) จะได้ค่าของ M_B

จากสมการความเค้นดัด

$$\sigma_d = \frac{MC}{I}$$ สมการ 3.7

เมื่อ

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \ldots\ldots\ldots (\text{เพลากลม})$$ สมการ 3.8

$$C = \frac{d}{2} \ldots\ldots\ldots (\text{เพลากลม})$$ สมการ 3.9

$M = M_{Max}$ ที่เกิดขึ้นจากการดัดคาน

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{Safetyfactor} = \frac{\sigma_y}{N_y}$$ สมการ 3.10

เมื่อนำสมการ (3.8) , (3.9) และ (3.10) แทนค่าลงในสมการความเค้นดัด (3.7) จะได้

$$\frac{\sigma_y}{N_y} = \frac{M_{Max} \cdot \frac{d}{2}}{\frac{\pi \cdot d^4}{64}}$$

$$\frac{\sigma_y}{N_y} = \frac{M_{Max} \cdot (32)}{\pi \cdot d^3}$$

$$d^3 = \frac{M_{Max} \cdot (32)}{\pi} \cdot \frac{N_y}{\sigma_y}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 M_{Max}}{\pi} \cdot \frac{N_y}{\sigma_y}}$$ สมการ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.1 <u>ค่าของตัวแปรที่ใช้ภายในสูตร</u>

เนื่องจากในการคำนวณหาค่าต่างๆที่ใช้ในการหาขนาดของเพลานั้นจะถูกแทนด้วยตัวแปรหลายตัว โดยที่แต่ละตัวแปรจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไปจึงจำเป็นที่จะต้องรู้ความหมายและค่าที่แท้จริงในการคำนวณ

ค่า l แทนความยาวของเพลาเครื่องจักรมีค่าเท่ากับ 0.3 เมตร

ค่า d แทนระยะจากกึ่งกลางชิ้นงานทดสอบถึงกึ่งกลางเพลามีค่าเท่ากับ 0.136 เมตร

ค่า P แทนแรงสูงสุดที่กระทำกับเพลาเครื่องจักรมีค่าเท่ากับ 19 นิวตัน

ค่า M_Z แทนโมเมนต์ที่เกิดจาก แรง x ระยะทาง มีค่าเท่ากับ 2.584 นิวตัน

ค่า N_y แทนความปลอดภัยในการออกแบบมีค่าเท่ากับ 3

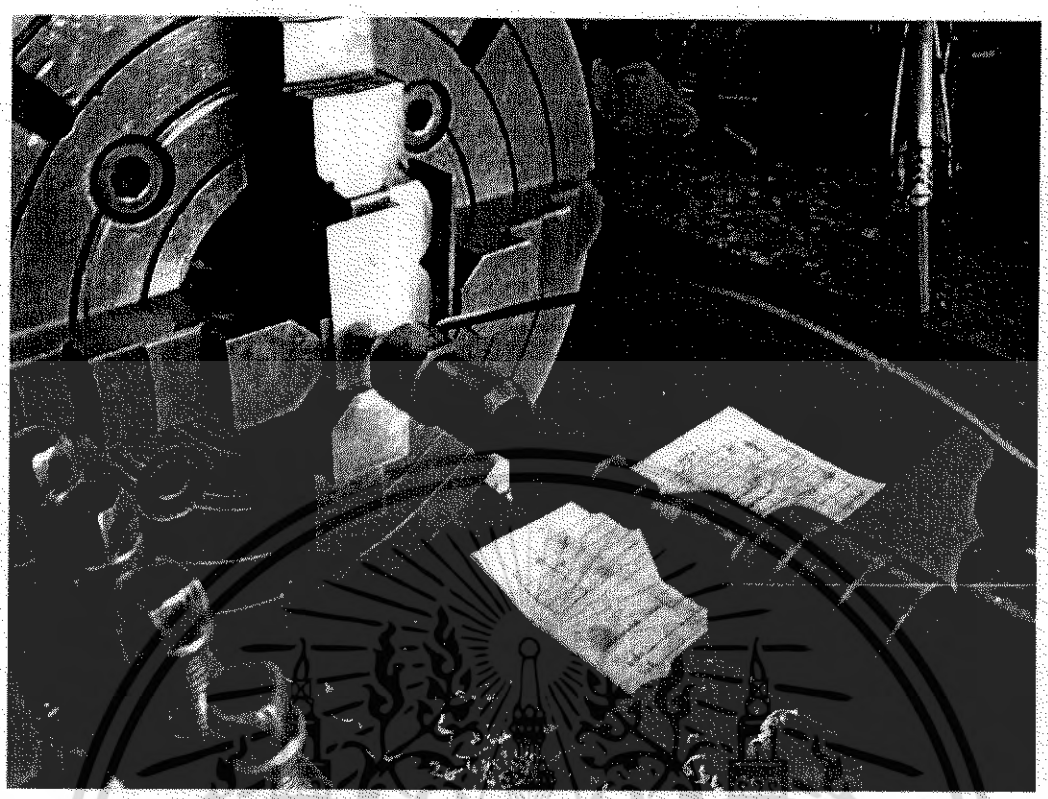
เมื่อทำการแทนค่าของตัวแปรต่างๆลงไปในสมการที่ (3.11) แล้วพบว่าค่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลามีค่าเท่ากับ 6.215 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดที่เล็กเกินไปที่จะนำมาใช้สำหรับทำเพลาของเครื่องจักร และตามท้องตลาดทั่วไปไม่สามารถซื้อได้จึงต้องใช้ขนาดมาตรฐานทั่วๆไปที่มีจำหน่าย คือ ขนาด 12 มิลลิเมตร

3.2.5 การดำเนินการสร้างเครื่องจักร

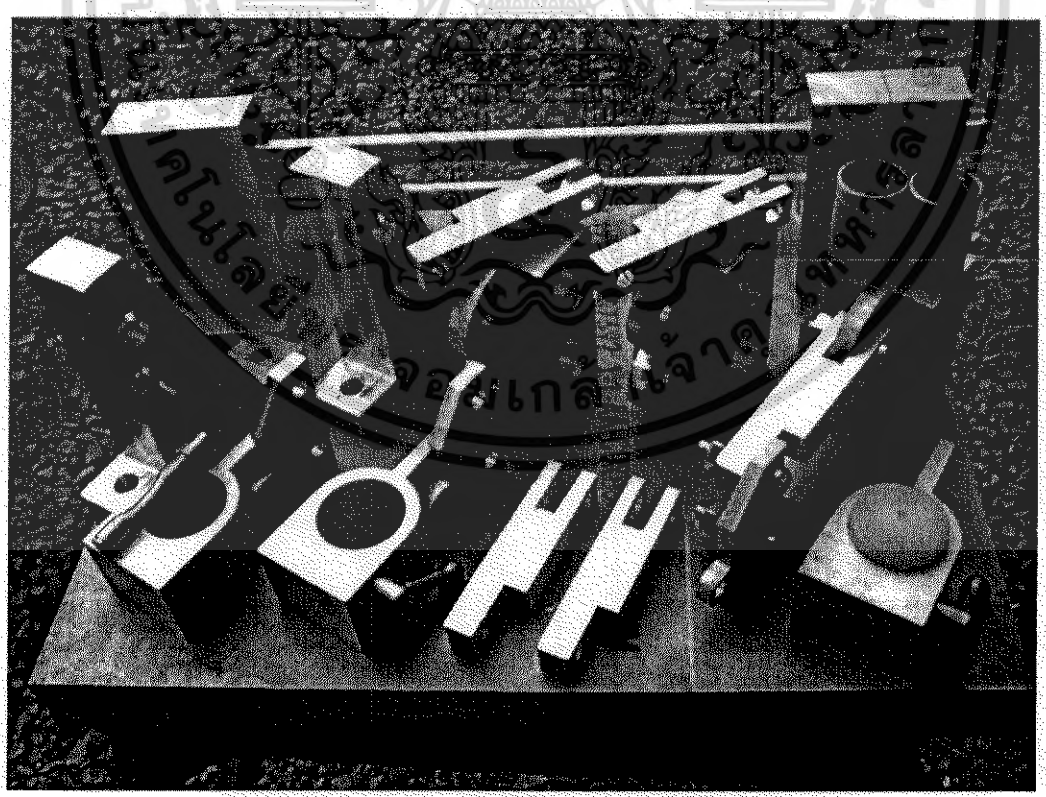
ในขั้นตอนแรกเริ่มจากการขึ้นรูปชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องจักรทีละชิ้นส่วนด้วยกรรมวิธีการผลิตจากเครื่องจักรหลายประเภท อาทิเช่น เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องไส

รูปที่ 3.27 แสดงกรรมวิธีการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องไส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 แสดงกรรมวิธีการขึ้นรูปชิ้นส่วนด้วยเครื่องกลึง



รูปที่ 3.29 แสดงชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องจักรหลังการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

ในการจัดทำโครงงานปริญญานิพนธ์เรื่อง "การพัฒนาเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ" ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงผลการสร้างการทดสอบ เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่วางไว้ โดยดำเนินการสร้างเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบและทำการทดสอบ รวมถึงรายละเอียดต่างๆของเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบเพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้อย่างเหมาะสม

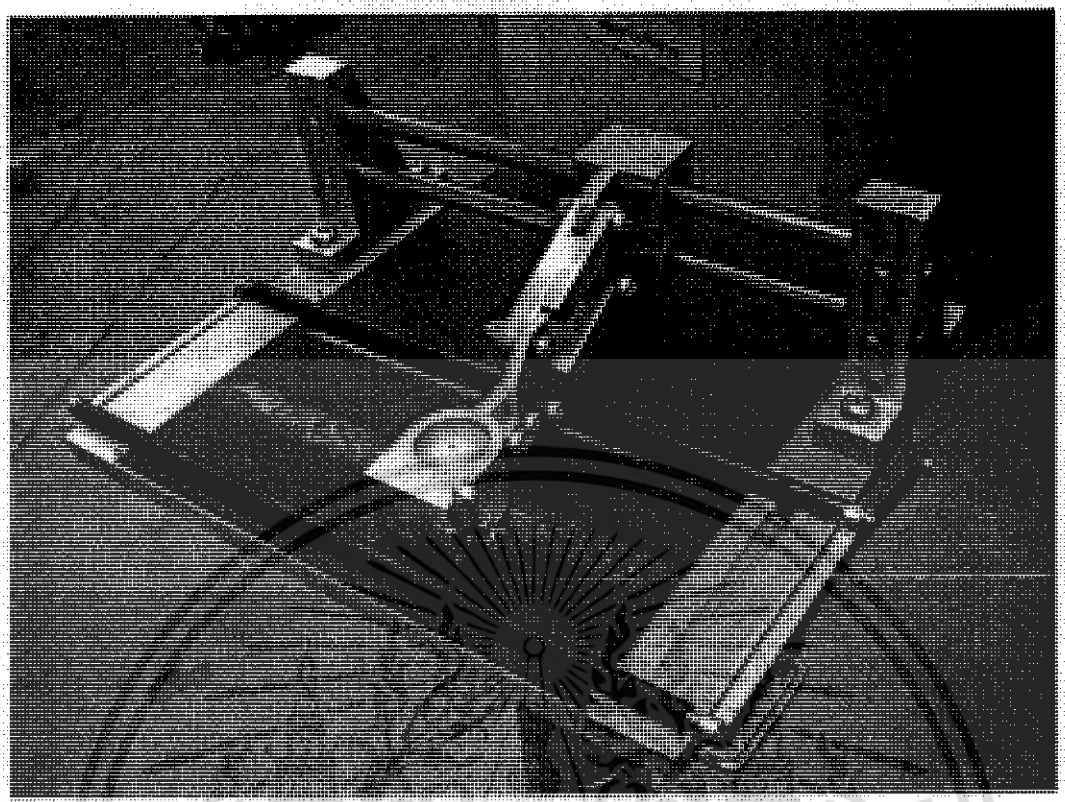
4.1 ผลการทำงานด้านการออกแบบ

จากการจัดสร้างเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบทั้งหมดจำนวน 3 เครื่อง จนสำเร็จดังรูปแบบที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรมต่างๆทางคอมพิวเตอร์ อาทิเช่น Mechanical Desktop 2006, SolidWorks 2006 และ Cimatron E 6.0 เครื่องจักรสามารถใช้งานได้จริงตามหลักการการขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ตามแนวแกนไปในทิศทางเดียวด้วยการควบคุมด้วยมือผู้ปฏิบัติงาน โดยใช้ชิ้นงานทดสอบที่มีขนาด 27.5 มิลลิเมตร

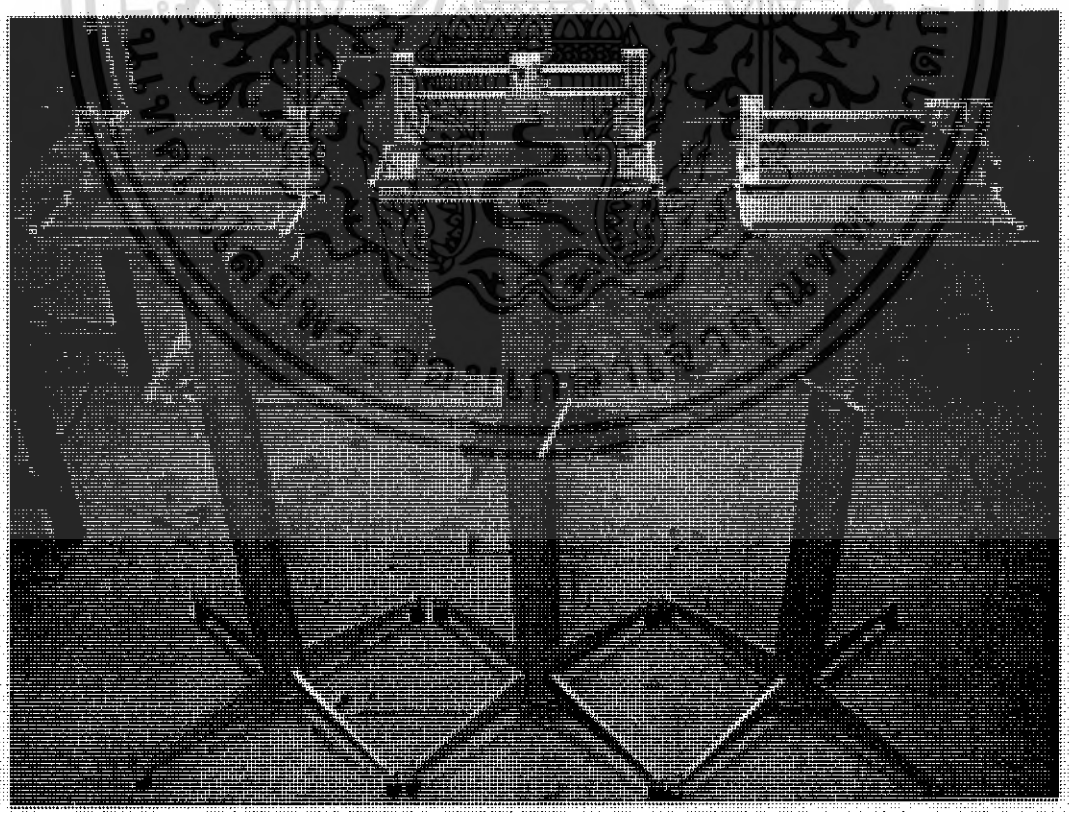
4.2 ผลการทำงานด้านการสร้างเครื่องจักร

ดำเนินการสร้างเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบตามที่ได้ออกแบบไว้จนแล้วเสร็จตามวัตถุประสงค์และได้ทดสอบ โดยตั้งข้อกำหนดไว้ คือ ขนาดของชิ้นงานทดสอบที่ใช้สำหรับการขัดหยาบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 27.5 มิลลิเมตร สำหรับใส่ลงในหัวจับชิ้นงาน ผลการสร้างเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบแสดงไว้ดังรูปภาพต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ

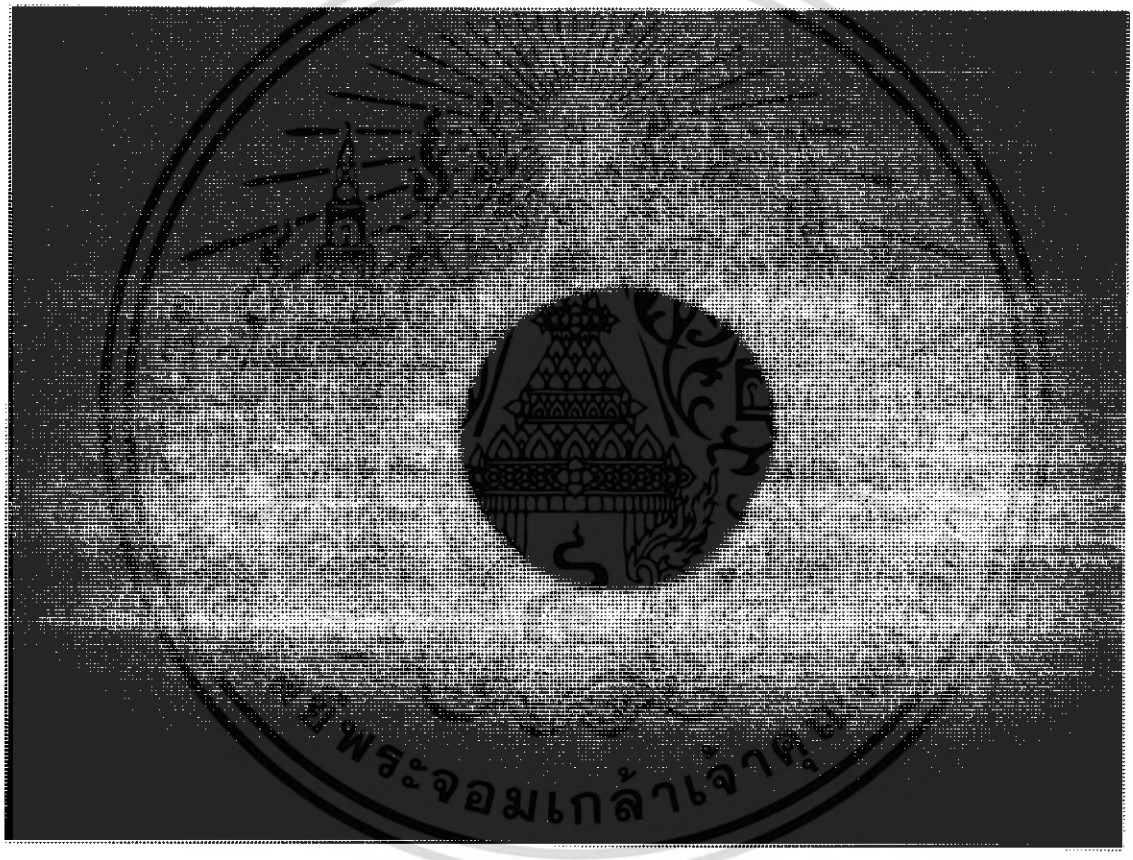


รูปที่ 4.2 แสดงเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบแบบสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

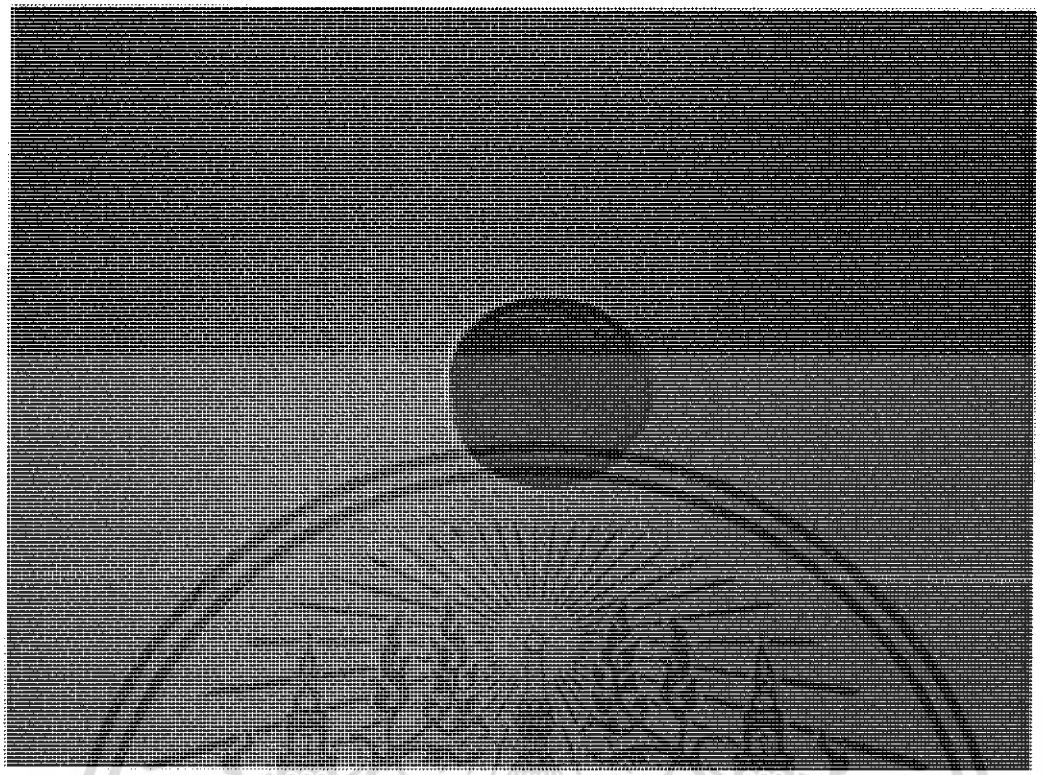
4.3 ผลการทดลองการขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ

หลังจากทำการสร้างเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบขึ้นมาใหม่ และทำการทดสอบการขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องขัดที่สร้างขึ้นและเครื่องขัดแบบที่มีใช้อยู่ในภาควิศวกรรมอุตสาหการ จากนั้นทำการเปรียบเทียบลักษณะผิวของชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้น โดยการสังเกตจากสีดำที่ถูกระบายบริเวณผิวชิ้นงานก่อนการขัด แสดงดังรูปที่ 4.3 จากการสังเกตพบว่าลักษณะผิวหน้าชิ้นงานทดสอบที่ออกมาจากเครื่องขัดที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้ สามารถขัดชิ้นงานทดสอบได้เป็นระนาบเดียวกันโดยที่ไม่มีสีดำเหลืออยู่ที่บริเวณผิวหน้าชิ้นงาน (ดูรูปที่ 4.4) แต่ชิ้นงานที่ผ่านการขัดผิวหน้าด้วยเครื่องขัดแบบที่มีใช้อยู่ก่อนจะมีหลายระนาบดังรูปที่ 4.5 ซึ่งสังเกตได้จากสีดำที่ยังติดอยู่ที่ผิวหน้าชิ้นงานทดสอบเนื่องมาจากแรงกดจากมือของผู้ที่ทำการขัดทำ ผลการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าเครื่องขัดแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่นี้เหมาะสมกับผู้ที่ไม่เคยขัดชิ้นงานมาก่อน



รูปที่ 4.3 แสดงชิ้นงานทดสอบก่อนทำการขัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงชิ้นงานทดสอบหลังการขัดด้วยเครื่องขัดแบบใหม่

รูปที่ 4.5 แสดงชิ้นงานทดสอบหลังการขัดด้วยเครื่องขัดแบบเก่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผล

จากการจัดสร้างเครื่องขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบ เครื่องจักรสามารถเคลื่อนที่ได้ตามแนวแกนที่ได้ออกแบบไว้ และใช้ได้กับชิ้นงานทดสอบที่มีขนาด 27.5 มิลลิเมตร เท่านั้น ทำงานด้วยการควบคุมจากแรงของผู้ทำการขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบเอง ในการออกแบบเครื่องขัดผิวชิ้นงานทดสอบได้ผลลัพธ์ดังนี้ เครื่องขัดผิวชิ้นงานทดสอบในส่วนของการขัดมีพื้นที่สำหรับการขัดชิ้นงาน 250 มิลลิเมตร โดยมีส่วนของแขนและหัวจับยึดจับชิ้นงานเป็นตัวคอยประคองชิ้นงานขณะทำการขัด เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนที่มีลักษณะเป็นฉากเพื่อให้เหมาะกับกระบวนส่องกล้องจุลทรรศน์ และมีโต๊ะวางเครื่องจักรที่สามารถปรับระดับความสูงให้เหมาะสมกับผู้ที่ปฏิบัติงาน ซึ่งผลที่ได้ออกมาจากการขัดด้วยเครื่องจักรที่ดำเนินการสร้างขึ้นมาใหม่นี้สามารถขัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบได้เป็นระนาบเดียวกันโดยการที่ผู้ปฏิบัติงานไม่จำเป็นที่จะต้องมีความชำนาญ หรือไม่เคยปฏิบัติงานประเภทนี้มาก่อน

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเครื่องจักรที่ทำการจัดสร้างขึ้นมานั้นเหมาะกับชิ้นงานทดสอบที่มีอยู่เพียงขนาดเดียว ซึ่งในบางกรณีการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Microstructure) ภายในเนื้อวัสดุนั้นอาจจะมีขนาดที่ใหญ่กว่า 27.5 มิลลิเมตร เช่น การตรวจดูผลกระทบจากรอยเชื่อมโดยที่ชิ้นงานจะต้องมีความยาวที่มากกว่าปกติ ควรจะมีการทำหัวจับชิ้นงานที่สามารถปรับขนาด หรือเปลี่ยนขนาดได้ตามความเหมาะสมของผู้ที่จะใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ศ.ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, รศ.ชาญ ถนัดงาน, การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม1, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2548

2. R.C.HIBBELER เขียน, รศ.ดร.บุรฉัตร ฉัตรวีระ, วทัชภศ เดชพันธ์ เรียบเรียง , กลศาสตร์วัสดุ เล่ม1 , พิมพ์ครั้งที่1 (2545) , บริษัท เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า จำกัด, กรุงเทพฯ

3. R.C.HIBBELER เขียน, รศ.ดร.บุรฉัตร ฉัตรวีระ, วทัชภศ เดชพันธ์ เรียบเรียง , กลศาสตร์วัสดุ เล่ม2 , พิมพ์ครั้งที่1 (2545) , บริษัท เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า จำกัด, กรุงเทพฯ

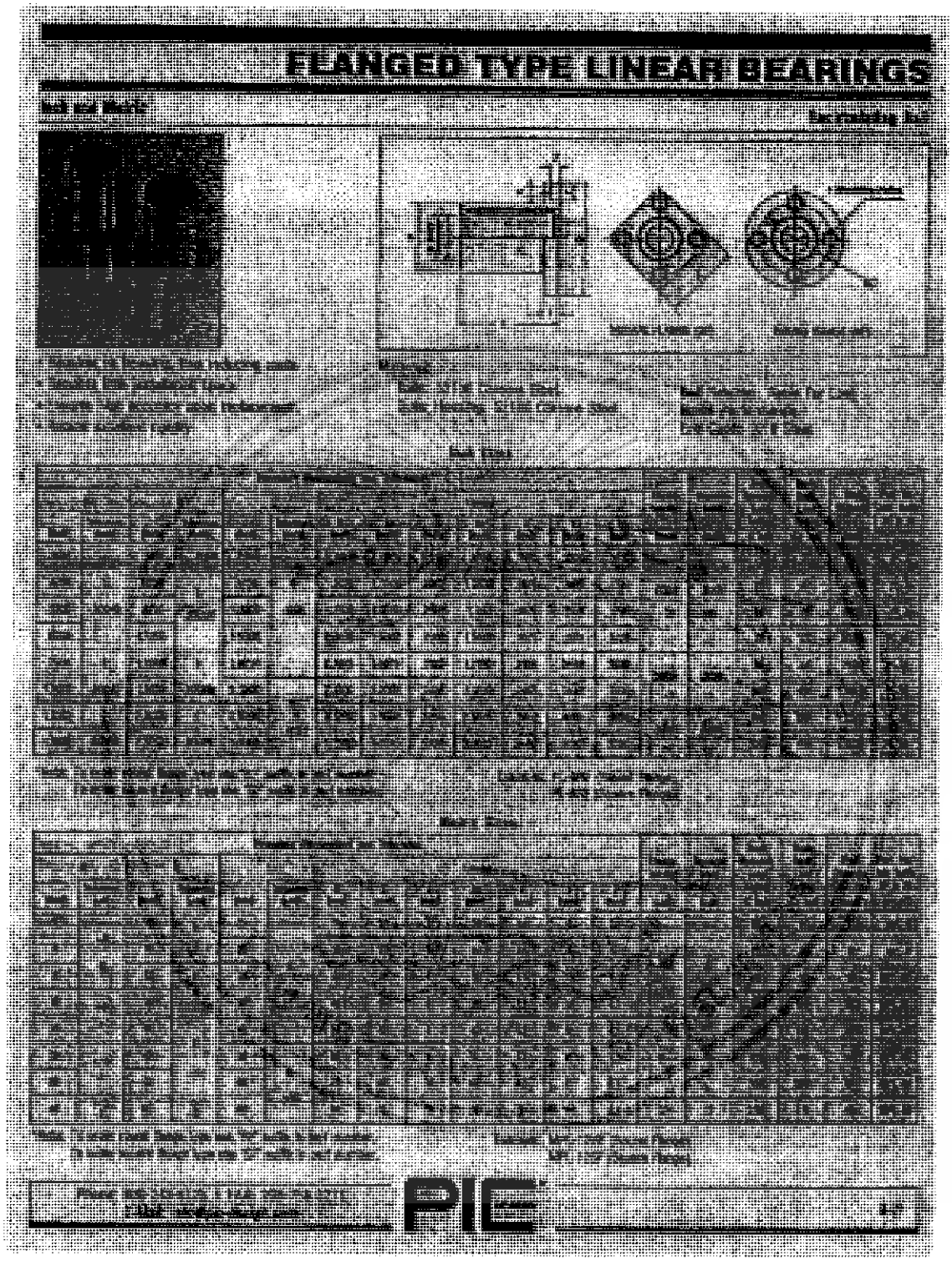
4. William D., Callister Jr., Materials Science and Engineering an Introduction, 6th Edition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

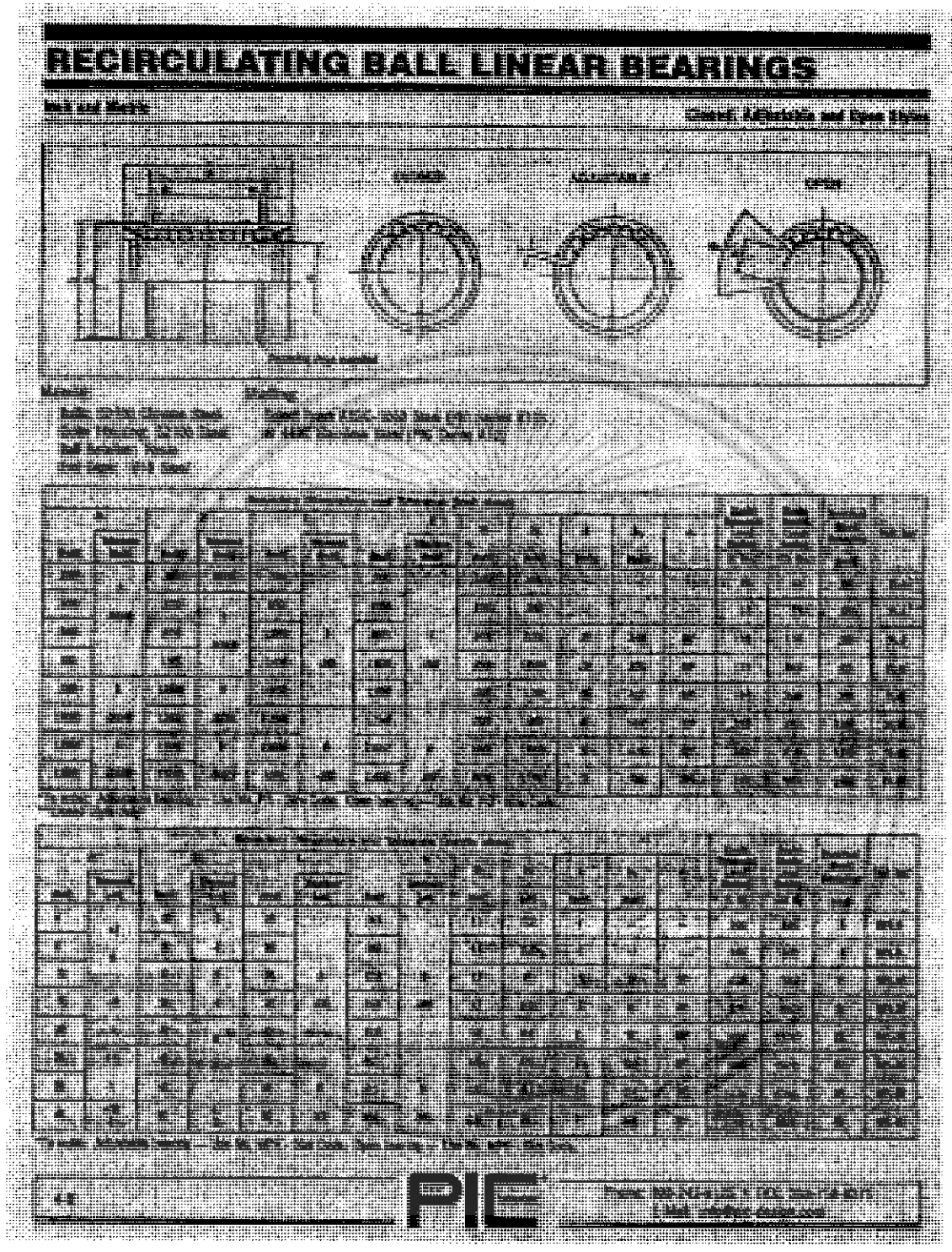
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 แสดงการเลือกใช้ลูกปืนขนาดมาตรฐาน



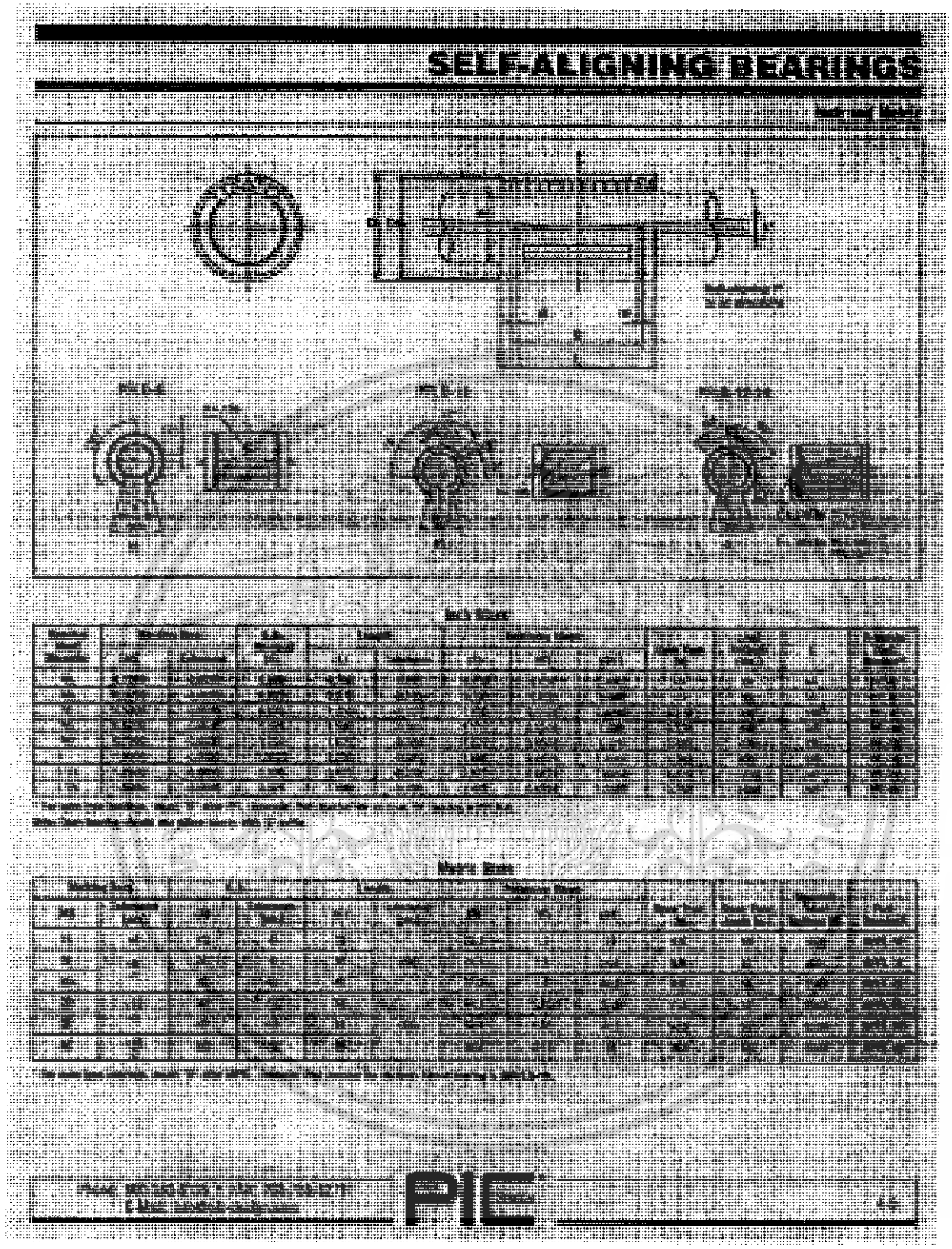
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.2 แสดงการเลือกใช้ลูกปืนขนาดมาตรฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.3 แสดงการเลือกใช้ลูกปืนขนาดมาตรฐาน

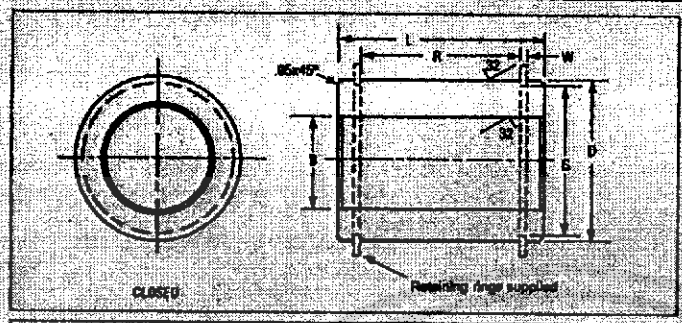


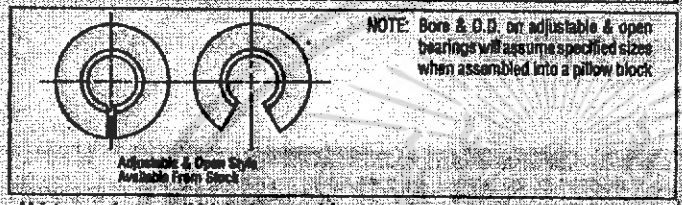
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.4 แสดงการเลือกใช้ลูกปืนขนาดมาตรฐาน

SELF LUBRICATING PLASTIC LINEAR BEARINGS

Inch and Metric — **Closed, Adjustable and Open Styles**





NOTE: Bore & O.D. on adjustable & open bearings will assume specified sizes when assembled into a pillow block

Material: Self Lubricated Engineered Plastic
PV = 18000 PSI-FPM Closed Bearings
= 10000 PSI-FPM Open Bearings
Maximum Speed: 200 FPM (unlubricated)
Max P: 750 PSI (static)
Hardness Durometer: Shore "D" 75
Coefficient of Friction: 0.2

$P = \frac{\text{Load (lbs.)}}{\text{I.D} \times \text{L (in.)}}$

$V_{FPM} = \frac{\text{Travel Distance (ft)}}{\text{Time (minutes)}}$

- Maintenance free — self lubricating material — quiet operation
- Improved reliability in hostile environments. Resistant to galvanic corrosion
- Does not gall or Brinell mating shaft
- Interchangable with all linear ball bearings
- Use with all hard or "soft" stainless steel shafting

Inch Sizes

Bore B (Inch)	Outside Dia. R	L ±.010	R ±.015	W +.010 -.000	B +.010 -.000	Max Shaft Diameter	Recommended Fits: Nominal ±.0005	Recommended Fits: Press ±.0005	Part Number (Closed)*
.253 ± .005	.5000 ± .0010	½	.437	.030	.468	.2490	.5000	.5005	PLC-4T*
.378 ± .005	.6250 ± .0010	⅝	.562	.030	.593	.3740	.6250	.6240	PLC-5T*
.504 ± .005	.7510 ± .0015	¾	.675	.048	.718	.4985	.7500	.7240	PLC-6T*
.629 ± .005	1.1258 ± .0015	1⅛	1.000	.050	1.063	.6240	1.1250	1.1240	PLC-10*
.755 ± .005	1.2509 ± .0015	1¼	1.062	.056	1.175	.7485	1.2500	1.2490	PLC-12*
1.005 ± .004	1.5625 ± .0020	1½	1.625	.068	1.468	.9985	1.5625	1.5615	PLC-16
1.255 ± .004	2.0000 ± .0020	2	1.875	.068	1.688	1.2490	2.0000	1.9990	PLC-20
1.505 ± .004	2.3750 ± .0020	2½	2.240	.068	2.230	1.4990	2.3750	2.3740	PLC-24

* Substitute A or O for C to denote adjustable or closed style, respectively. For example, PLA = Adjustable style, PLO = open style, PLC = closed style
** Closed only

Metric Sizes

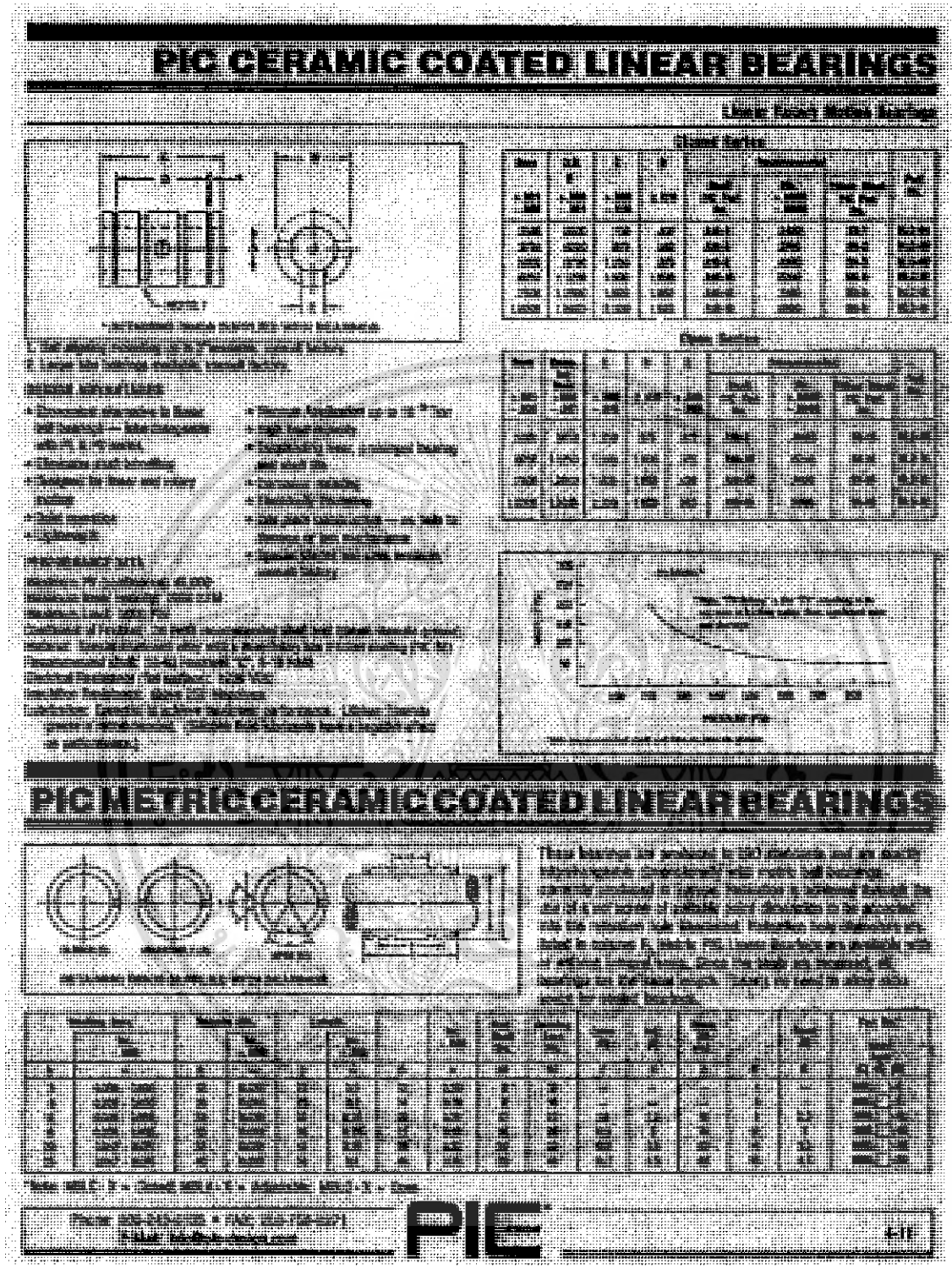
Bore B (mm)	Outside Dia. R	L ±.38	R ±.40	W +.38	B +.38	Max Shaft Diameter	Recommended Fits: Nominal ±.012	Recommended Fits: Press ±.012	Part Number (Closed)*
6	12 + .00 - .20	22	12	1.1	11.9	6	12.0	11.98	MPLC-6*
8	16 + .00 - .25	25	14	1.1	15.9	8	16.0	15.97	MPLC-8*
12	22 + .00 - .25	32	20	1.5	21.8	12	22.0	21.97	MPLC-12*
16	28 + .00 - .04	38	22	1.5	25.0	16	28.0	25.96	MPLC-16*
20	32 + .00 - .04	45	26	1.5	30.2	20	32.0	31.96	MPLC-20*
25	40 + .00 - .05	58	40	1.5	37.5	25	40.0	39.96	MPLC-25*
30	47 + .00 - .05	68	42.4	1.5	44.5	30	47.0	46.96	MPLC-30*
40	62 + .00 - .06	88	56.3	2.1	59.0	40	62.0	61.96	MPLC-40*

* Substitute A or O for C to denote adjustable or closed style, respectively. For example, MPLA = Adjustable style, MPLO = open style, MPLC = closed style
** Closed only

PIC design
Phone: 800-243-5125 • FAX: 203-758-8271
E-Mail: info@pic-design.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.5 แสดงการเลือกใช้ลูกปืนขนาดมาตรฐาน



PIC CERAMIC COATED LINEAR BEARINGS

PIC METRIC CERAMIC COATED LINEAR BEARINGS

PIC

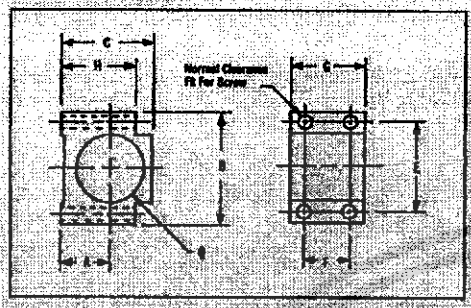
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.6 แสดงการเลือกใช้ลูกปืนขนาดมาตรฐาน

LINEAR BEARING HOUSING

Closed Linear Bearings

MATERIAL: Aluminum
FINISH: Black Anodize

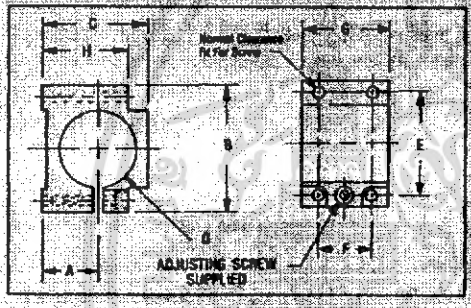


For Shaft Size	B Bore +.001 -.000	A ±.001	B ±.030	C ±.025	E ±.005	F ±.015	S +.000 -.005	H ±.025	M10 Screw	Part No.
.250	.5000	.437	1.125	.812	.875	—*	.427	.856	#8	10-1
.375	.6250	.500	1.250	.937	1.000	—*	.552	.741	#8	10-2
.500	.8750	.625	1.500	1.187	1.187	.562	.865	1.000	#8	10-3
.625	1.1250	.762	1.750	1.500	1.406	.700	.990	1.300	#8	10-4
.750	1.2500	.875	1.875	1.656	1.562	.750	1.040	1.497	#8	10-5
1.000	1.5625	1.000	2.375	1.937	2.000	1.250	1.310	1.625	#10	10-6
1.250	1.8000	1.312	2.750	2.500	2.375	1.500	1.960	2.000	#10	10-7
1.500	2.3750	1.625	3.750	3.187	3.281	1.750	2.235	2.750	#10	10-8

* 2 mounting holes required

Adjustable Linear Bearings

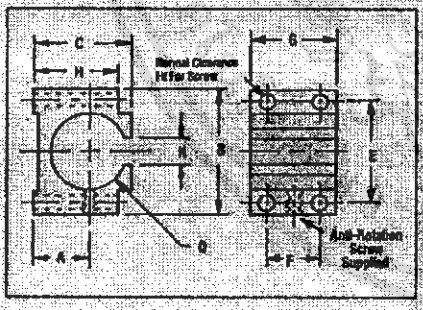
MATERIAL: Aluminum
FINISH: Black Anodize



For Shaft Size	B Bore +.001 -.000	A ±.001	B ±.030	C ±.025	E ±.005	F ±.012	S +.000 -.005	H ±.025	M10 Screw	Part No.
.500	.8750	.625	1.500	1.187	1.187	.562	.865	1.000	#8	20-3
.625	1.1250	.762	1.750	1.500	1.406	.700	.990	1.300	#8	20-4
.750	1.2500	.875	1.875	1.656	1.562	.750	1.040	1.497	#8	20-5
1.000	1.5625	1.000	2.375	1.937	2.000	1.250	1.310	1.625	#10	20-6
1.250	1.8000	1.312	2.750	2.500	2.375	1.500	1.960	2.000	#10	20-7
1.500	2.3750	1.625	3.750	3.187	3.281	1.750	2.235	2.750	#10	20-8

Open Linear Bearings

MATERIAL: Aluminum
FINISH: Black Anodize



For Shaft Size	B Bore +.001 -.000	A ±.001	B ±.030	C ±.025	E ±.005	F ±.015	S +.000 -.005	H ±.025	M10 Screw	N ±.02	Ball Adjusting Style	Rigid Mounting Style
											Part No.	B +.0000 -.0005	Part No.
.500	.8750	.625	1.500	1.062	1.187	.562	.865	1.000	#8	.406	20-13	.625	20-103
.625	1.1250	.762	1.750	1.250	1.406	.700	.990	1.250	#8	.781	20-14	.750	20-104
.750	1.2500	.875	1.875	1.562	1.562	.750	1.040	1.497	#8	.906	20-15	1.000	20-105
1.000	1.5625	1.000	2.375	1.937	2.000	1.250	1.310	1.625	#10	.781	20-16	1.250	20-106
1.250	1.8000	1.312	2.750	2.250	2.375	1.500	1.960	2.000	#10	.781	20-17	1.500	20-107
1.500	2.3750	1.625	3.750	3.000	3.281	1.750	2.235	2.750	#10	.906	20-18	2.000	20-108

PIC DESIGN
Phone: 800-243-6125 • FAX: 203-758-8271
E-Mail: info@pic-design.com

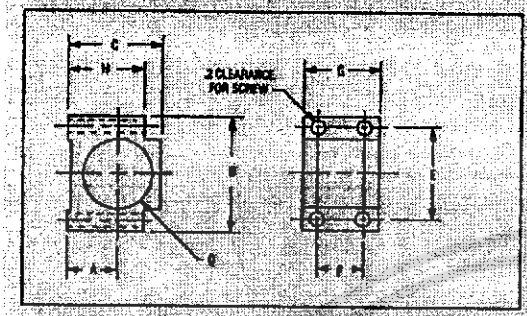
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.7 แสดงการเลือกใช้ลูกปืนขนาดมาตรฐาน

METRIC LINEAR BEARING HOUSING

Closed Linear Bearings

MATERIAL: Aluminum
FINISH: Black Anodize

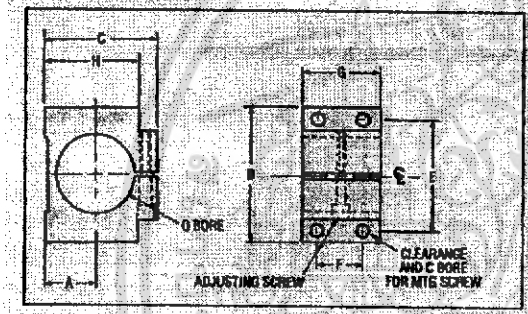


For Shaft Size	B Bore H7	A ±.05	E ±.4	G ±.4	E ±.2	F ±.2	S -.2	H ±.4	MTG SCREW	Part No.
5	12	14	37	29	24	7	12	26	M3	MHC-5
8	16	18	40	32	26	7	14	30	M4	MHC-8
12	22	18	43	32	22	7	20	34	M4	MHC-12
16	26	22	53	40	40	12	22	40	M5	MHC-16
20	32	25	60	50	45	14	28	48	M6	MHC-20
25	40	30	70	61	55	22	40	53	M8	MHC-25
30	47	35	87	72	60	26	45	64	M8	MHC-30
40	62	45	108	95	85	32	55	82	M10	MHC-40

*2 Mounting Holes Centered

Adjustable Linear Bearings

MATERIAL: Aluminum
FINISH: Black Anodize

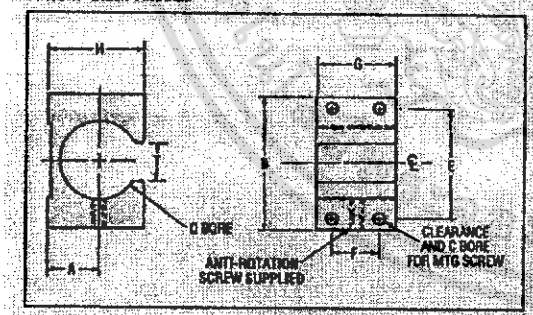


For Shaft Size	B Bore H7	A ±.05	E ±.4	G ±.4	E ±.2	F ±.2	S -.2	H ±.4	MTG SCREW	Part No.
12	22	18	43	32	22	7	20	34	M4	MHA-12
16	26	22	53	40	40	12	22	40	M5	MHA-16
20	32	25	60	50	45	14	28	48	M6	MHA-20
25	40	30	70	61	55	22	40	53	M8	MHA-25
30	47	35	87	72	60	26	45	64	M8	MHA-30
40	62	45	108	95	85	32	55	82	M10	MHA-40

*2 Mounting Holes Centered

Open Linear Bearings

MATERIAL: Aluminum
FINISH: Black Anodize



For Shaft Size	B Bore H7	A ±.05	E ±.4	T ±.4	E ±.2	F ±.2	S -.2	H ±.4	MTG SCREW	Part No.
12	22	18	43	14	32	7	20	34	M4	MHO-12
16	26	22	53	18	40	12	22	40	M5	MHO-16
20	32	25	60	18	45	14	28	48	M6	MHO-20
25	40	30	70	20	55	22	40	53	M8	MHO-25
30	47	35	87	20	60	26	45	64	M8	MHO-30
40	62	45	108	28	85	32	55	82	M10	MHO-40

*2 Mounting Holes Centered

Phone: 800-243-6125 • FAX: 203-758-8271
E-Mail: info@pic-design.com

PIC DESIGN

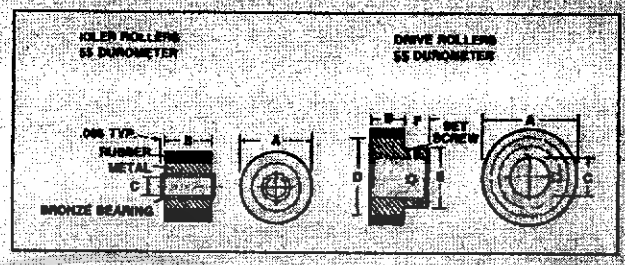
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.8 แสดงการเลือกใช้ลูกปืนขนาดมาตรฐาน

PRECISION RUBBER ROLLERS

- Used in design of: Copier machine paper drives, card feeders, collators, sorters, ticket and label dispensers, and virtually any machine that moves paper, tape, etc.
- Other bores, widths and diameters are available...Inquire for price and availability.

Material: Neoprene (Urethane, 40-90 Durometer optionally available)
Clear Anodized Aluminum Hub (Passivated stainless steel optionally available)



IDLER ROLLERS

Dimensions			Part No.
A"	B"	C"	
.500	3/8	188	RSE-0500-3
.625	5/16	188	RSE-0625-3
.750	3/8	251	RSE-0750-4
.875	3/8	251	RSE-0875-4
1.000	1/2	251	RSE-1000-4
1.125	1/2	251	RSE-1125-4
1.250	1/2	376	RSE-1250-6
2.000	5/8	376	RSE-2000-6

Note: The face width is .010" less than the standard width

DRIVE ROLLERS

Dimensions							Pull Range	Part No.
A"	B"	C"	D"	E"	F"	G"		
.625	3/4	188	1/2	1/2	1/4		(7) 48-32	RDE-0625-3
.750	3/8	251	1/2	1/2	1/4		(5) 48-32	RDE-0750-4
.875	3/8	251	1/2	1/2	1/4		(3) 48-32	RDE-0875-4
1.000	3/8	251	1/2	1/2	1/4		(1) 48-32	RDE-1000-4
1.000	1/2	251	3/4	5/8	5/16		(2) 48-32	RDE-1000-4
1.125	1/2	251	3/4	5/8	5/16		(1) 48-32	RDE-1125-4
1.250	1/2	376	1 1/8	7/8	3/8		(2) 718-32	RDE-1250-6
2.000	5/8	376	1 1/2	1	3/8		(2) 718-32	RDE-2000-6

"A", "B", & "C" Dimension tolerances are as follows: A= +.000" -.002"; B= ±.005"; C= +.001" -.003"

Concentricity "A" to "C" T.I.R. -.001"

PIC DESIGN
Phone: 800-243-6125 • FAX: 203-758-8271
E-Mail: info@pic-design.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.9 แสดงคุณสมบัติของวัสดุ

Table B.3 (*Continued*)

Material	*Poisson's Ratio*	*Material*	*Poisson's Ratio*
COMPOSITE MATERIALS			
Aramid fibers-epoxy matrix ($V_f = 0.6$)	0.34	E glass fibers-epoxy matrix ($V_f = 0.6$)	0.19
High modulus carbon fibers-epoxy matrix ($V_f = 0.6$)	0.25		

Sources: *ASM Handbooks, Volumes 1 and 2,* and *Engineered Materials Handbooks, Volumes 1 and 4,* ASM International, Materials Park, OH; R. F. Floral and S. T. Peters, "Composite Structures and Technologies," tutorial notes, 1989; and manufacturers' technical data sheets.

Table B.4 Typical Room-Temperature Yield Strength, Tensile Strength, and Ductility (Percent Elongation) Values for Various Engineering Materials

Material/Condition	*Yield Strength (MPa[ksi])*	*Tensile Strength (MPa[ksi])*	*Percent Elongation*
METALS AND METAL ALLOYS			
Plain Carbon and Low Alloy Steels			
Steel alloy A36			
• Hot rolled	220–250 (32–36)	400–500 (58–72.5)	23
Steel alloy 1020			
• Hot rolled	210 (30) (min)	380 (55) (min)	25 (min)
• Cold drawn	350 (51) (min)	420 (61) (min)	15 (min)
• Annealed (@ 870°C)	295 (42.8)	395 (57.3)	36.5
• Normalized (@ 925°C)	345 (50.3)	440 (64)	38.5
Steel alloy 1040			
• Hot rolled	290 (42) (min)	520 (76) (min)	18 (min)
• Cold drawn	490 (71) (min)	590 (85) (min)	12 (min)
• Annealed (@ 785°C)	355 (51.3)	520 (75.3)	30.2
• Normalized (@ 900°C)	375 (54.3)	590 (85)	28.0
Steel alloy 4140			
• Annealed (@ 815°C)	417 (60.5)	655 (95)	25.7
• Normalized (@ 870°C)	655 (95)	1020 (148)	17.7
• Oil-quenched and tempered (@ 315°C)	1570 (228)	1720 (250)	11.5
Steel alloy 4340			
• Annealed (@ 810°C)	472 (68.5)	745 (108)	22
• Normalized (@ 870°C)	862 (125)	1280 (185.5)	12.2
• Oil-quenched and tempered (@ 315°C)	1620 (235)	1760 (255)	12
Stainless Steels			
Stainless alloy 304			
• Hot finished and annealed	205 (30) (min)	515 (75) (min)	40 (min)
• Cold worked ($\frac{1}{4}$ hard)	515 (75) (min)	860 (125) (min)	10 (min)
Stainless alloy 316			
• Hot finished and annealed	205 (30) (min)	515 (75) (min)	40 (min)
• Cold drawn and annealed	310 (45) (min)	620 (90) (min)	30 (min)
Stainless alloy 405			
• Annealed	170 (25)	415 (60)	20

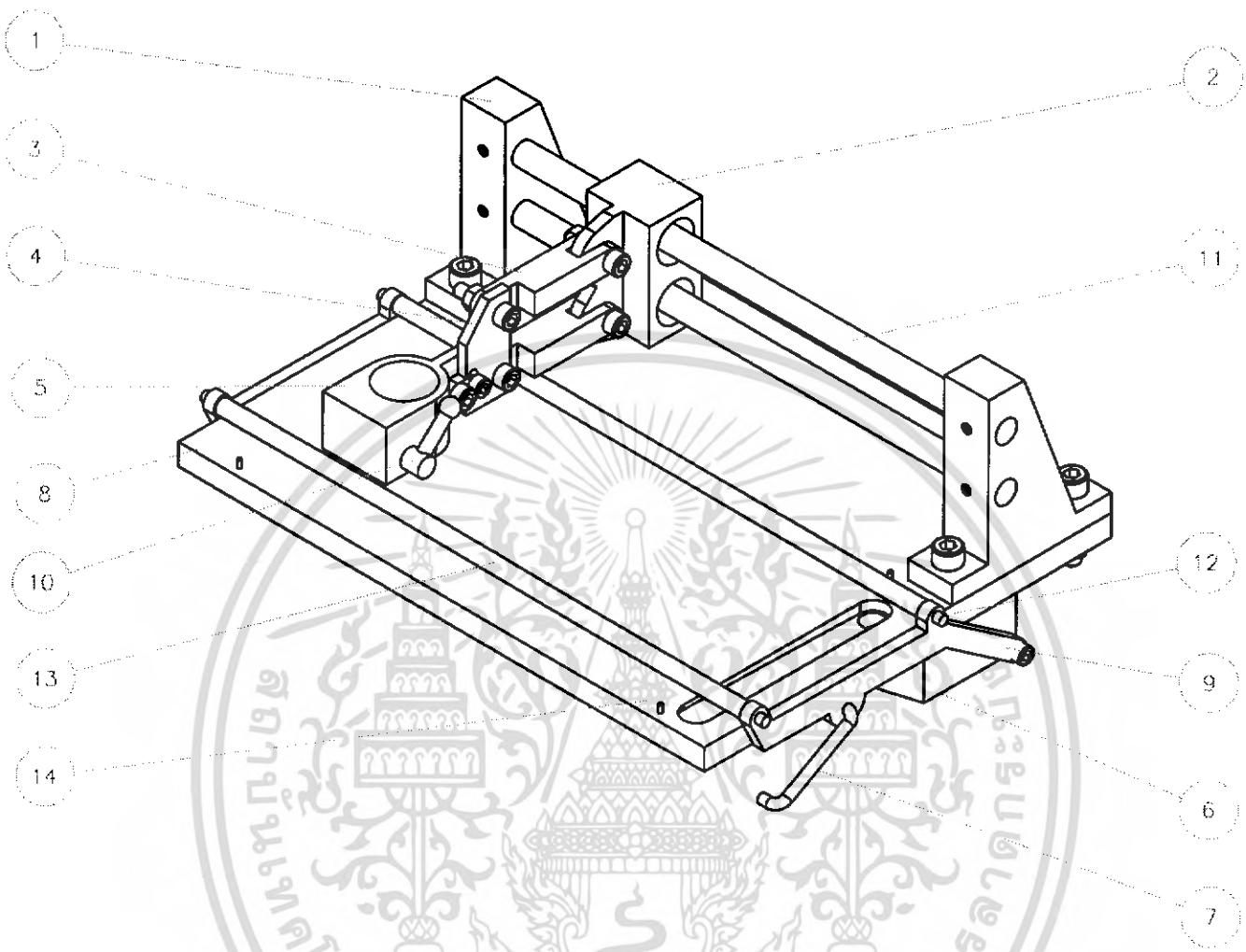
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.10 แสดงคุณสมบัติของวัสดุ

Table B.4 (*Continued*)

Material/Condition	*Yield Strength (MPa[ksi])*	*Tensile Strength (MPa[ksi])*	*Percent Elongation*
Stainless alloy 440A			
• Annealed	415 (60)	725 (105)	20
• Tempered @ 315°C	1650 (240)	1790 (260)	5
Stainless alloy 17-7PH			
• Cold rolled	1210 (175) (min)	1380 (200) (min)	1 (min)
• Precipitation hardened @ 510°C	1310 (190) (min)	1450 (210) (min)	3.5 (min)
Cast Irons			
Gray irons			
• Grade G1800 (as cast)	—	124 (18) (min)	—
• Grade G3000 (as cast)	—	207 (30) (min)	—
• Grade G4000 (as cast)	—	276 (40) (min)	—
Ductile irons			
• Grade 60-40-18 (annealed)	276 (40) (min)	414 (60) (min)	18 (min)
• Grade 80-55-06 (as cast)	379 (55) (min)	552 (80) (min)	6 (min)
• Grade 120-90-02 (oil quenched and tempered)	621 (90) (min)	827 (120) (min)	2 (min)
Aluminum Alloys			
Alloy 1100			
• Annealed (O temper)	34 (5)	90 (13)	40
• Strain hardened (H14 temper)	117 (17)	124 (18)	15
Alloy 2024			
• Annealed (O temper)	75 (11)	185 (27)	20
• Heat treated and aged (T3 temper)	345 (50)	485 (70)	18
• Heat treated and aged (T351 temper)	325 (47)	470 (68)	20
Alloy 6061			
• Annealed (O temper)	55 (8)	124 (18)	30
• Heat treated and aged (T6 and T651 tempers)	276 (40)	310 (45)	17
Alloy 7075			
• Annealed (O temper)	103 (15)	228 (33)	17
• Heat treated and aged (T6 temper)	505 (73)	572 (83)	11
Alloy 356.0			
• As cast	124 (18)	164 (24)	6
• Heat treated and aged (T6 temper)	164 (24)	228 (33)	3.5
Copper Alloys			
C11000 (electrolytic tough pitch)			
• Hot rolled	69 (10)	220 (32)	50
• Cold worked (H04 temper)	310 (45)	345 (50)	12
C17200 (beryllium–copper)			
• Solution heat treated	195–380 (28–55)	415–540 (60–78)	35–60
• Solution heat treated, aged @ 330°C	965–1205 (140–175)	1140–1310 (165–190)	4–10
C26000 (cartridge brass)			
• Annealed	75–150 (11–22)	300–365 (43.5–53.0)	54–68
• Cold worked (H04 temper)	435 (63)	525 (76)	8
C36000 (free-cutting brass)			
• Annealed	125 (18)	340 (49)	53
• Cold worked (H02 temper)	310 (45)	400 (58)	25
C71500 (copper–nickel, 30%)			
• Hot rolled	140 (20)	380 (55)	45
• Cold worked (H80 temper)	545 (79)	580 (84)	3

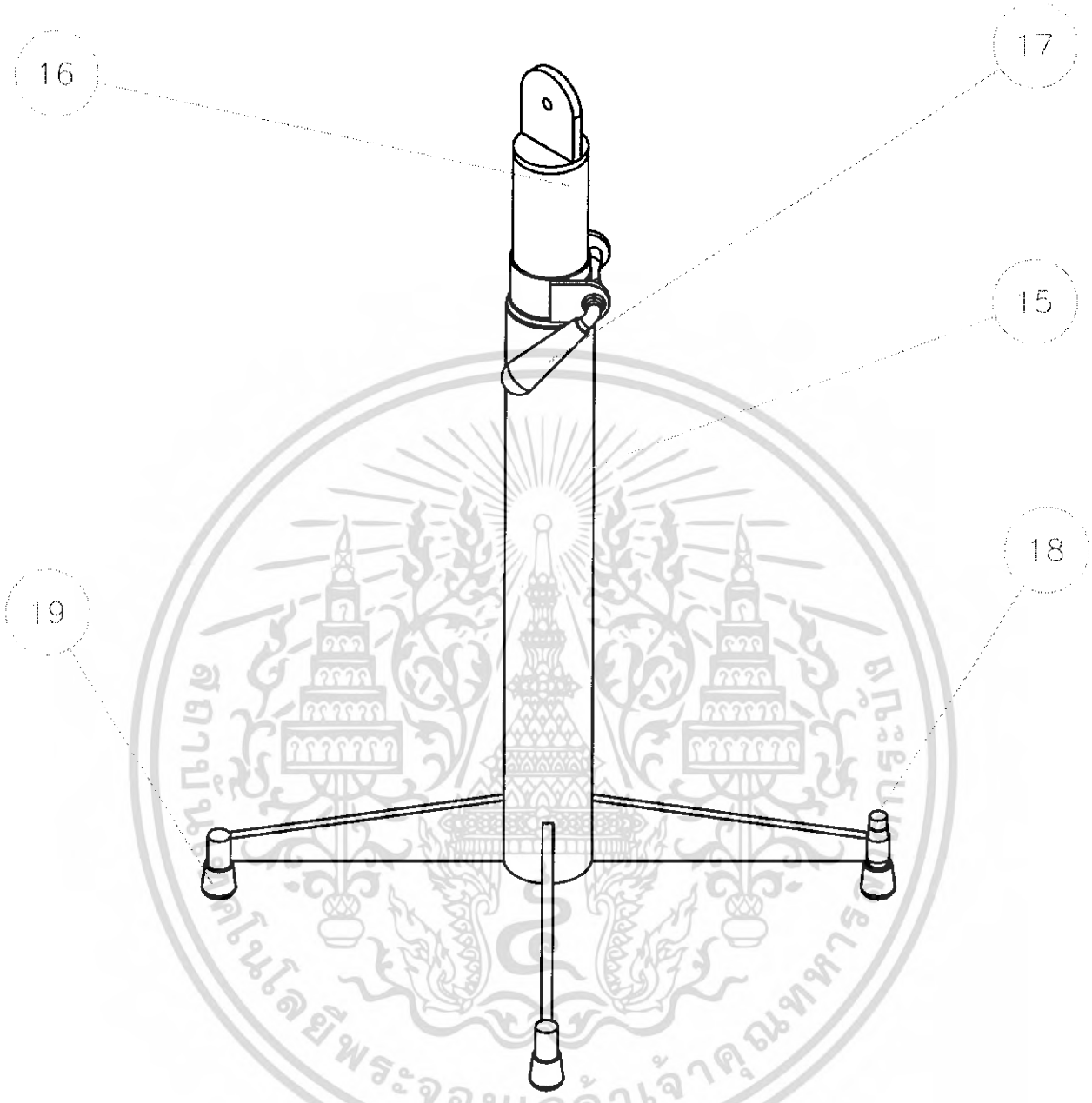
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
14	ปริ้นประคองกระดาษทราย	ø2 x 10 mm	Stainless	014	6
13	ลูกยางสวมเพลาล็อกกระดาษทราย	ø8 x 300 mm	Rubber	013	2
12	เพลาตัวล็อกกระดาษทราย	ø5 x 310 mm	Stainless	012	2
11	เพลา	ø12 x 300 mm	Stainless	011	2
10	ตัวล็อกชิ้นงาน	ø5 x 50 mm	Stainless	010	1
9	ตัวล็อกตัวจับกระดาษทราย	60 x 160 x 6 mm	Iron	009	2
8	ฐาน	230 x 300 x12 mm	Aluminum 6061	008	1
7	เพลาบังคับแขนจับกระดาษทราย	ø5 x 400 mm	Stainless	007	1
6	ที่วางฐานเครื่องขัด	50 x 300 x 4 mm	Iron	006	1
5	หัวจับชิ้นงาน	35 x 65 x 25 mm	Aluminum 6061	005	1
4	ตัวปรับองศา	25 x 50 x 5 mm	Aluminum 6061	004	1
3	แขน	17 x 70 x 12 mm	Aluminum 6061	003	2
2	ปลอกสวม LB	55 x 60 x 36 mm	Aluminum 6061	002	1
1	ฐานวางเพลา	90 x 90 x 25 mm	Aluminum 6061	001	2

Scale 1 : 2.7	Drawn	Pongsiri Sukkaseam	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
	Designer	Pongsiri Sukkaseam	
	Approved		
	Development of Surface Grinding Machine		Drawing No. DSGM01

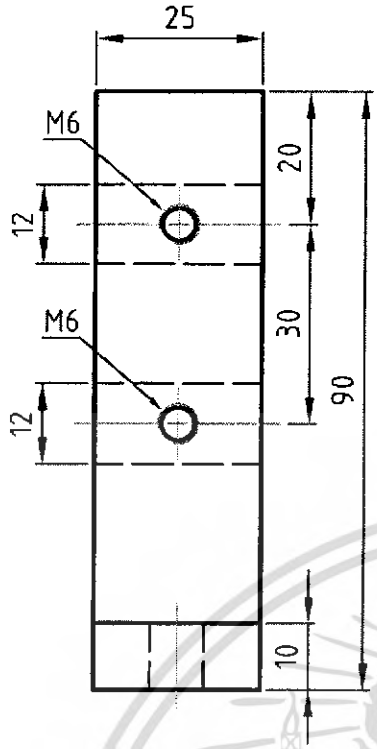
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

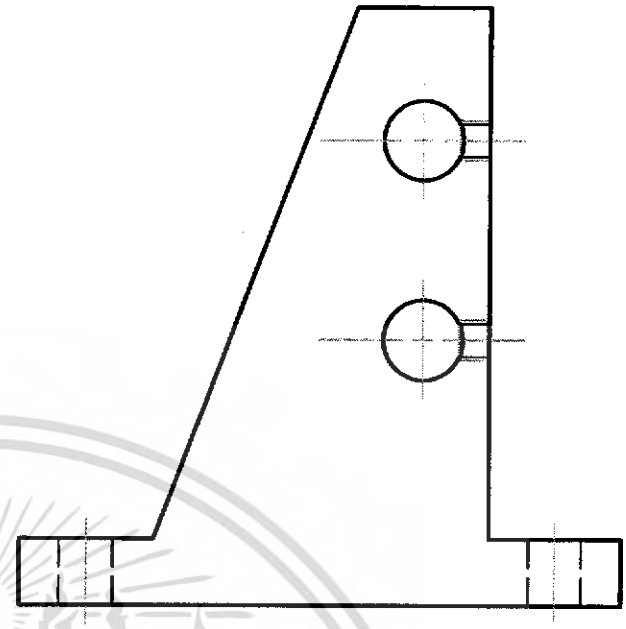


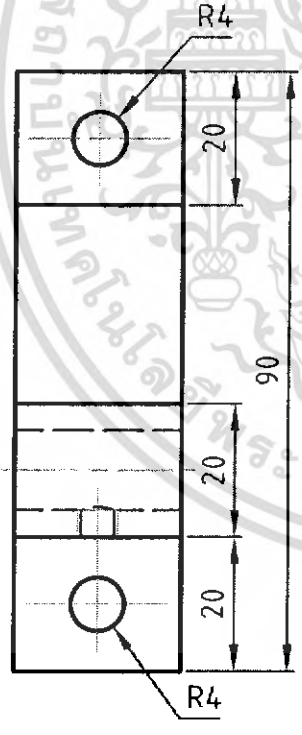
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
19	ลูกยางรองขาโต๊ะ	⌀30 x 30 mm	Rubber	019	4
18	ตัวปรับระดับขาโต๊ะ	⌀20 x 70 mm	Iron	018	1
17	ตัวล็อกเพลาสไลด์	⌀20 x 150 mm	Iron	017	1
16	เพลาสไลด์	⌀64 x 720 mm	Iron	016	1
15	ฐานวางเครื่องขัด	⌀76 x 620 mm	Iron	015	1

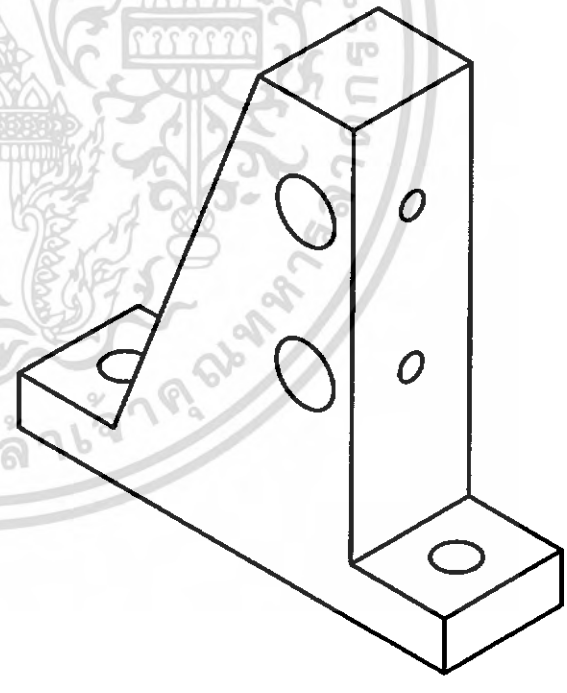
Scale 1 : 5.3	Drawn	Pongsiri Sukkaseam	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
	Designer	Pongsiri Sukkaseam	
	Approved		
	Development of Surface Grinding Machine		Drawing No. DSGM01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



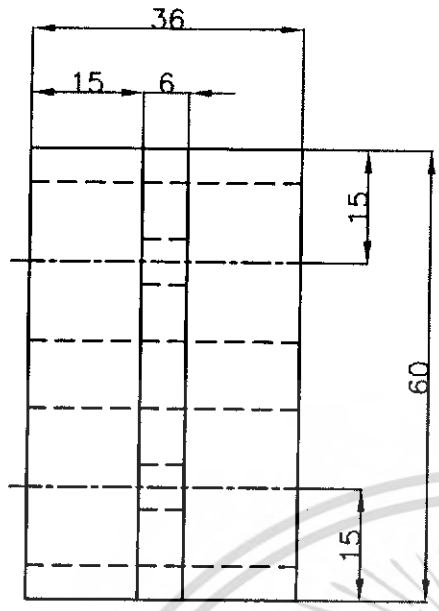


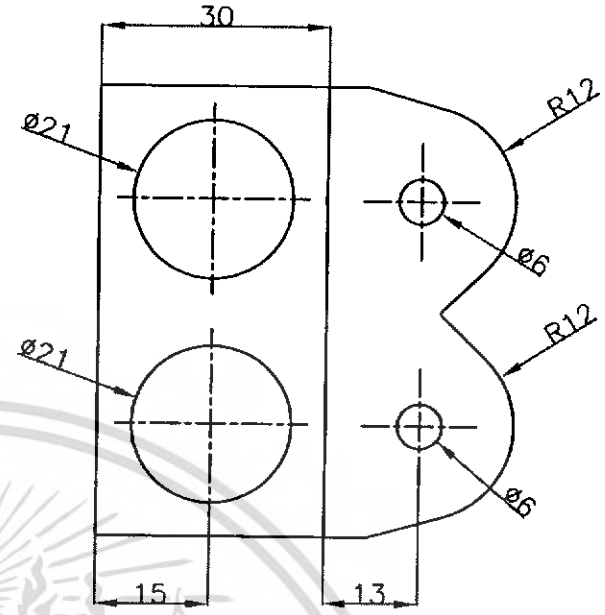


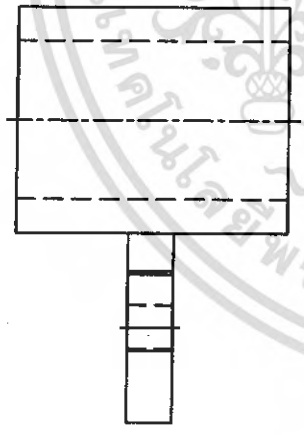


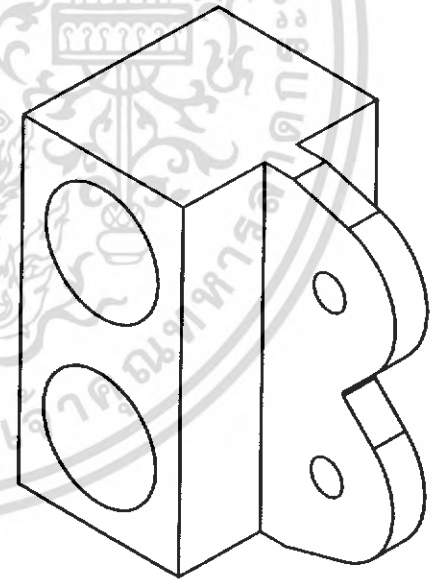
1	ฐานวางเพลา	90 x 90 x 25 mm	Aluminum 6061	001	2
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 1.1	Drawn	Pongsiri Sukkaseam	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer	Pongsiri Sukkaseam			
	Approved				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



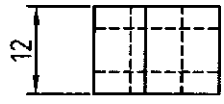


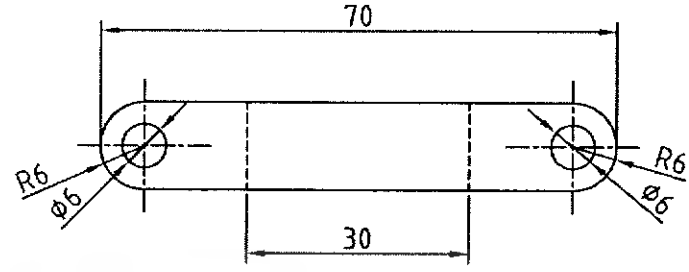


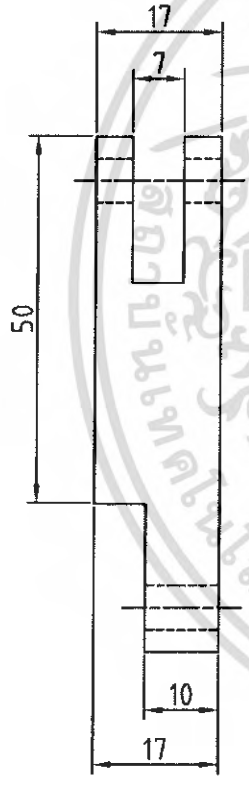


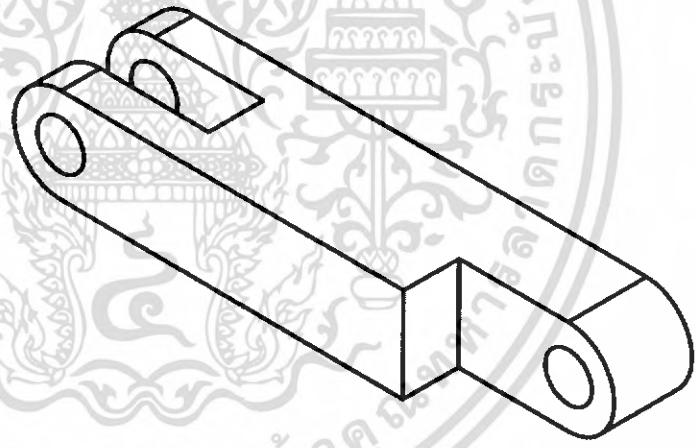
2	ปลอกสวม LB	55 x 60 x 36 mm	Aluminum 6061	002	1
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 0.93	Drawn	Pongsiri Sukkaseam	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer	Pongsiri Sukkaseam			
	Approved				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การแสวงหาผลกำไร ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



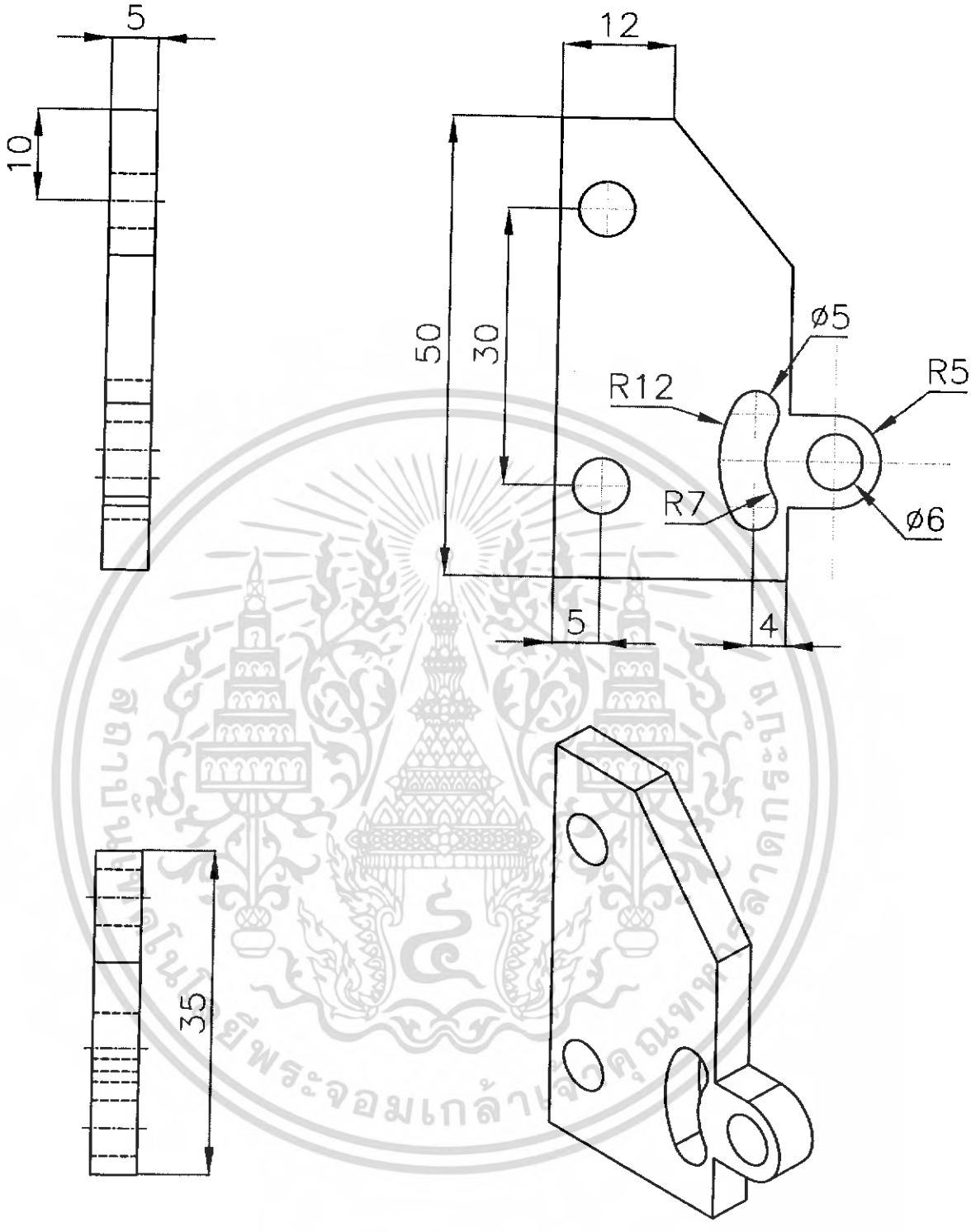






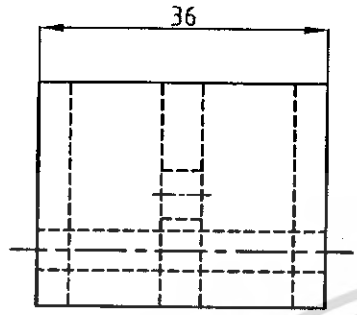
3	แขน	17 x 70 x 12 mm	Aluminum 6061	003	2
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 0.95	Drawn: Pongsiri Sukkaseam		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer: Pongsiri Sukkaseam				
	Approved:				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

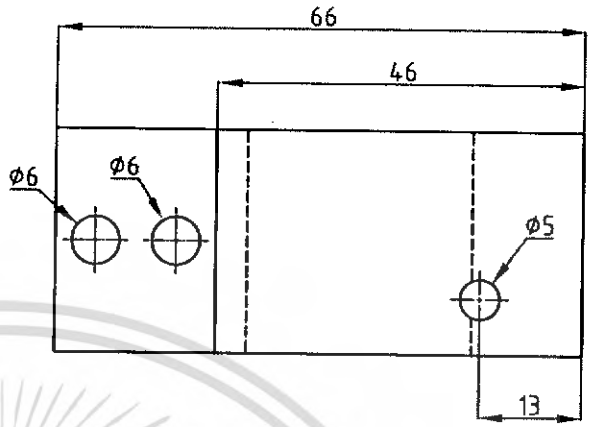
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

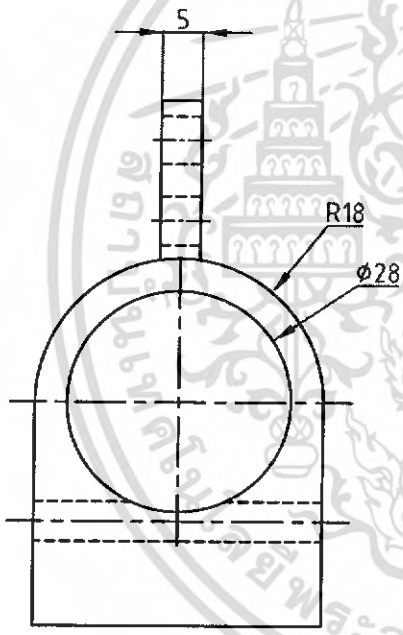


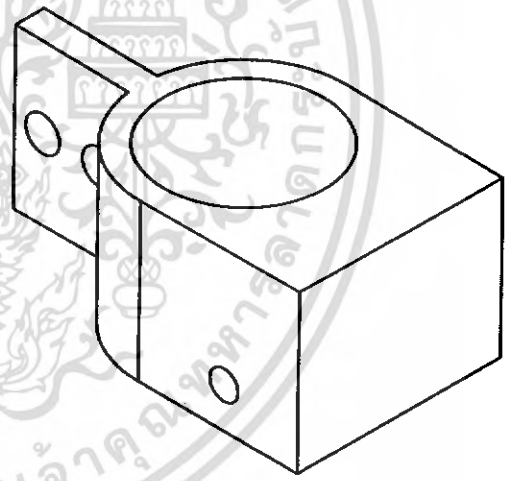
4	ตัวช่วยปรับองศา	25 x 50 x 5 mm	Aluminum 6061	004	1
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 0.62	Drawn: Pongsiri Sukkaseam		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer: Pongsiri Sukkaseam				
	Approved:				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช



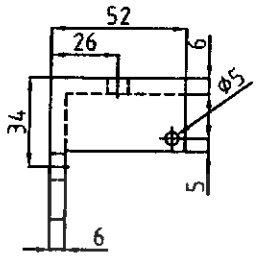


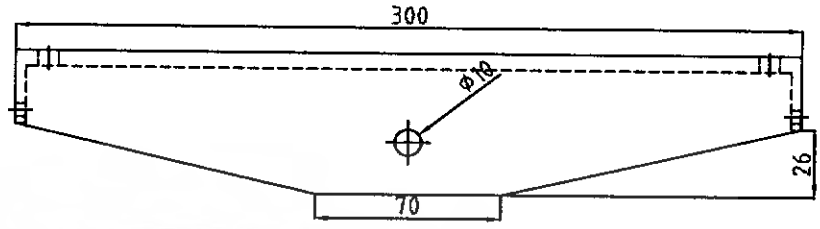


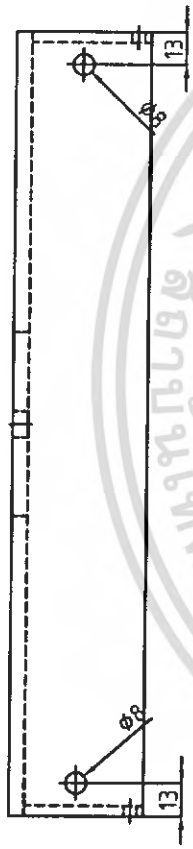


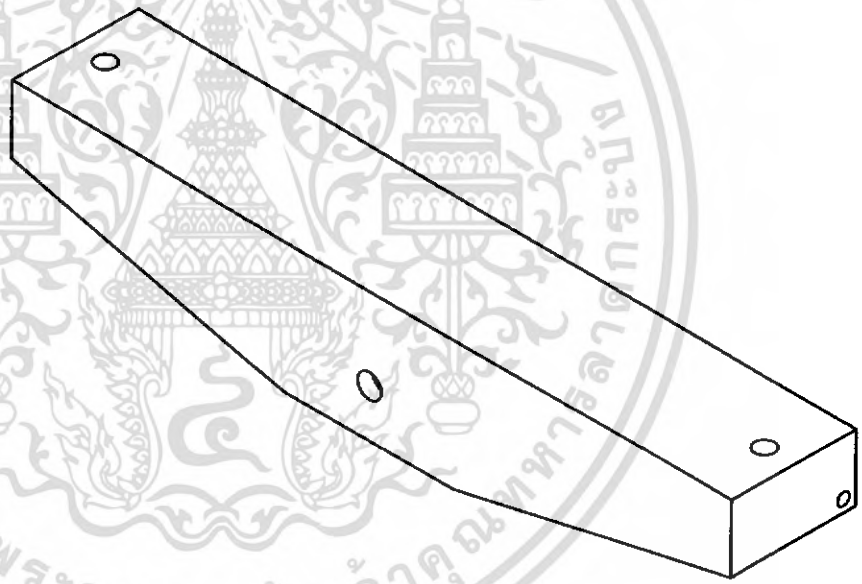
5	หัวจับชิ้นงาน	35 x 65 x 25 mm	Aulminum 6061	005	1
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 0.87	Drawn: Pongsiri Sukkaseam		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer: Pongsiri Sukkaseam				
	Approved:				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





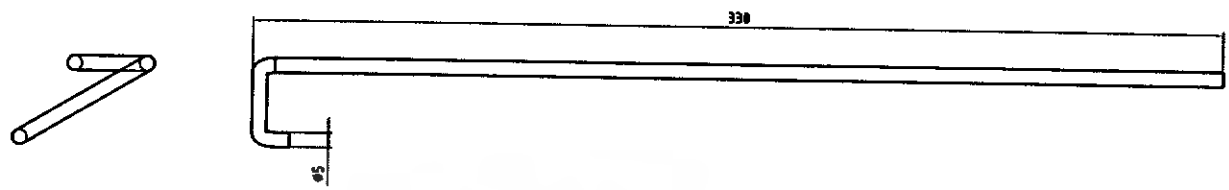


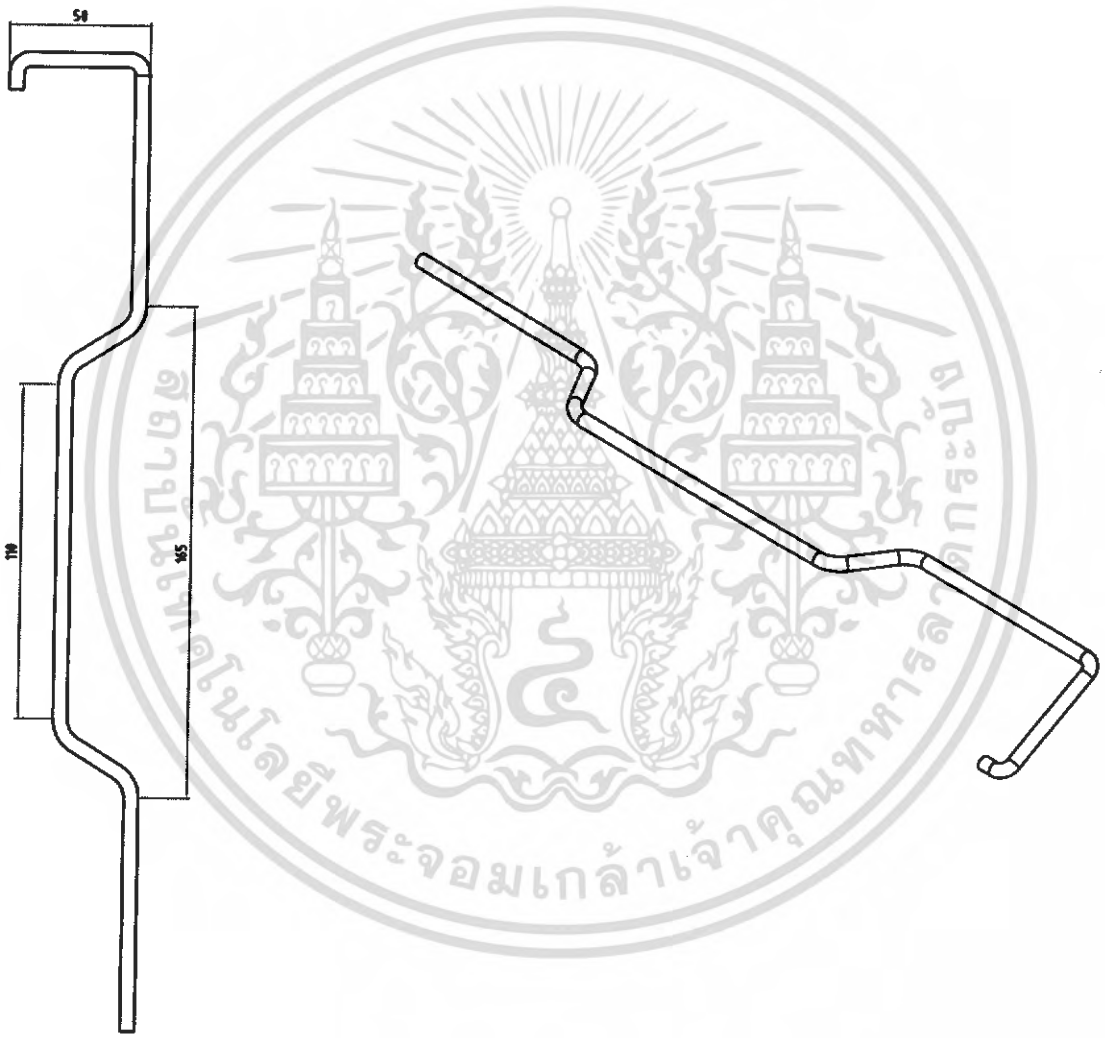


6	ที่วางฐานเครื่องขัด	50 x 300 x 4 mm	Iron	006	1
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg

Scale 1 : 2.7	Drawn	Pongsiri Sukkaseam	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang	
	Designer	Pongsiri Sukkaseam		
	Approved			
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01

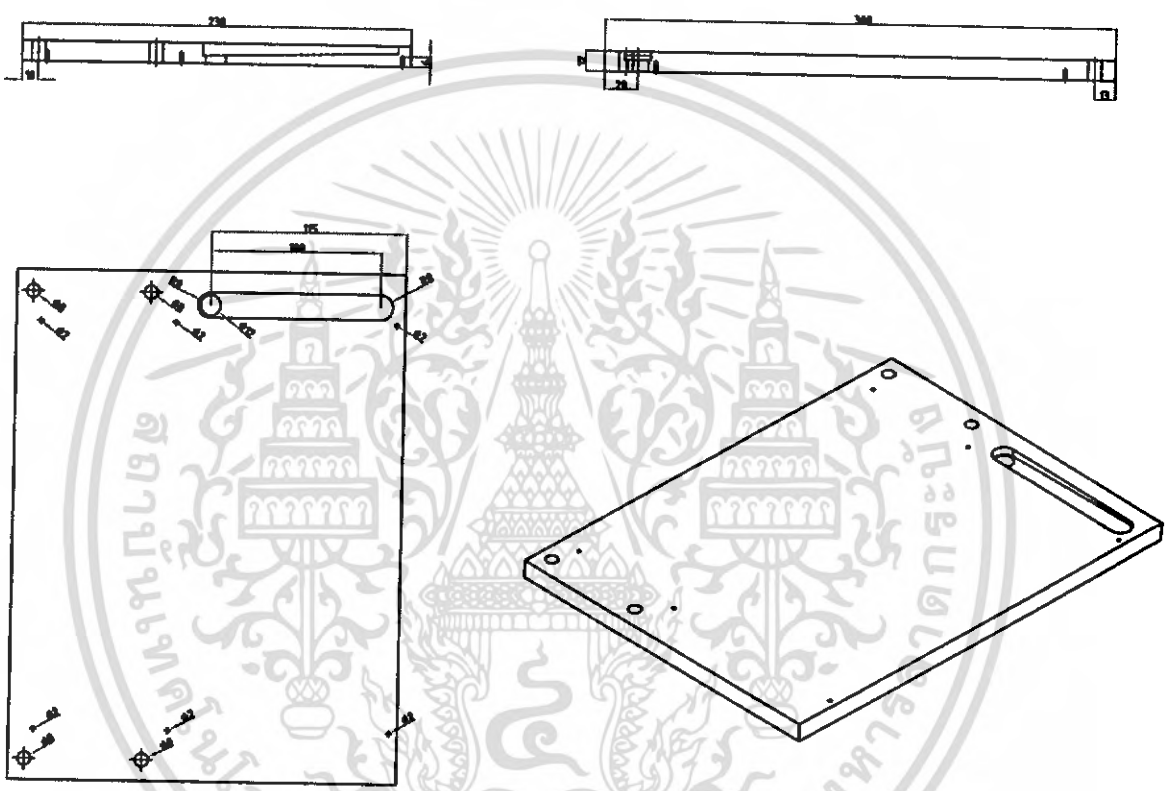
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





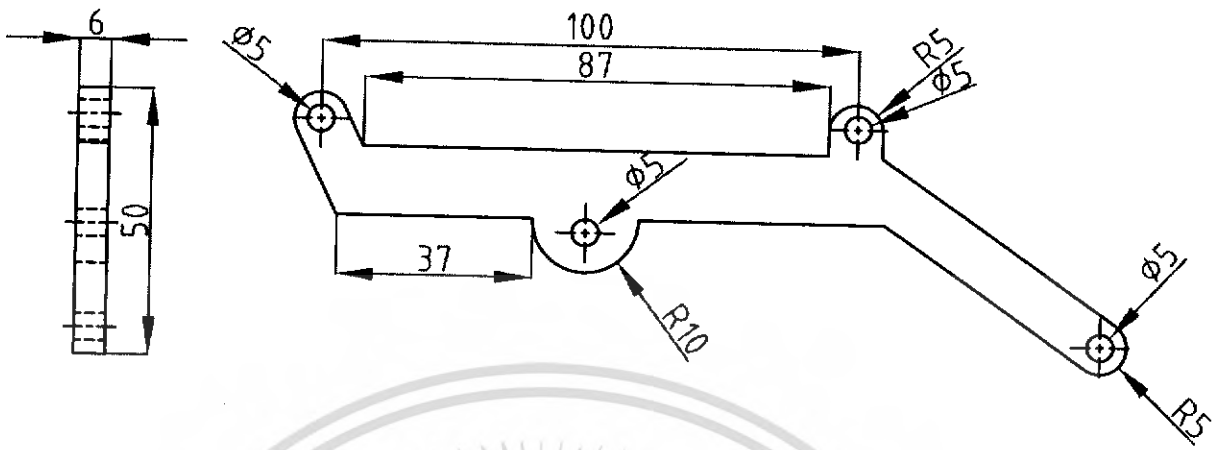
7	เพลาบังคับแขนจับกระดาษทราย	ø5 x 400 mm	stainless	007	1
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 2.4	Drawn	Pongsiri Sukkaseam	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer	Pongsiri Sukkaseam			
	Approved				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

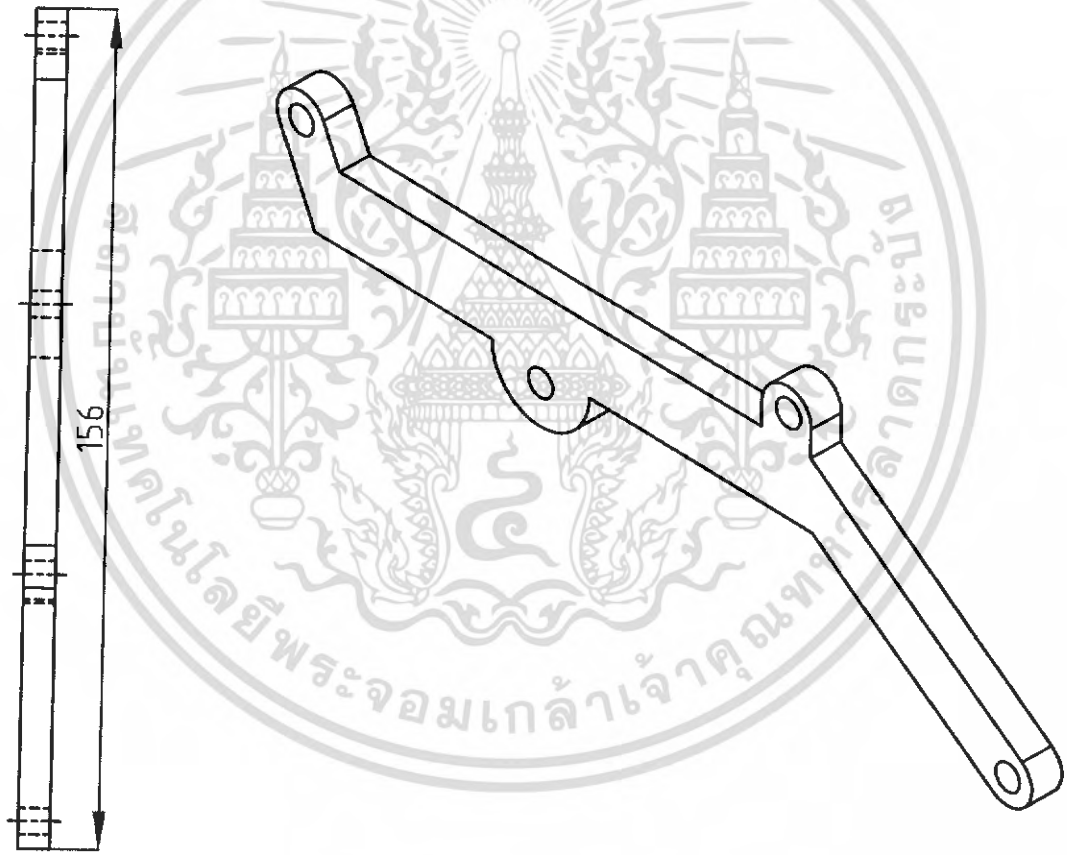
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



8	ฐาน	230 x 300 x 12 mm	Aluminum 6061	008	1
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 4.2	Drawn: Pongsiri Sukkaseam		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer: Pongsiri Sukkaseam				
	Approved:				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

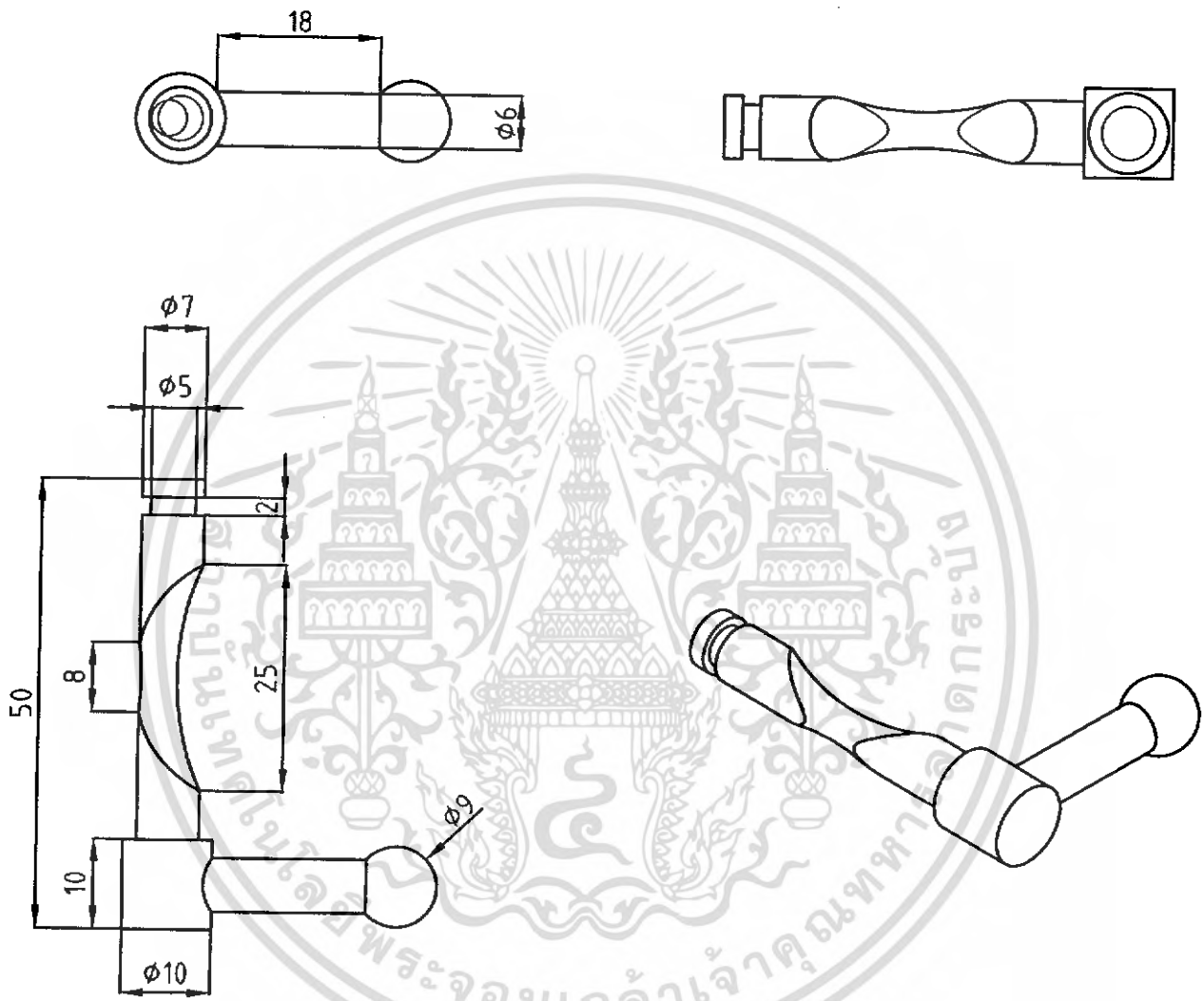
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





9	ตัวล็อกตัวจับกระดาษทราย	60 x 160 x 6 mm	Iron	009	2
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 1.3	Drawn: Pongsiri Sukkaseam		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer: Pongsiri Sukkaseam				
	Approved:				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

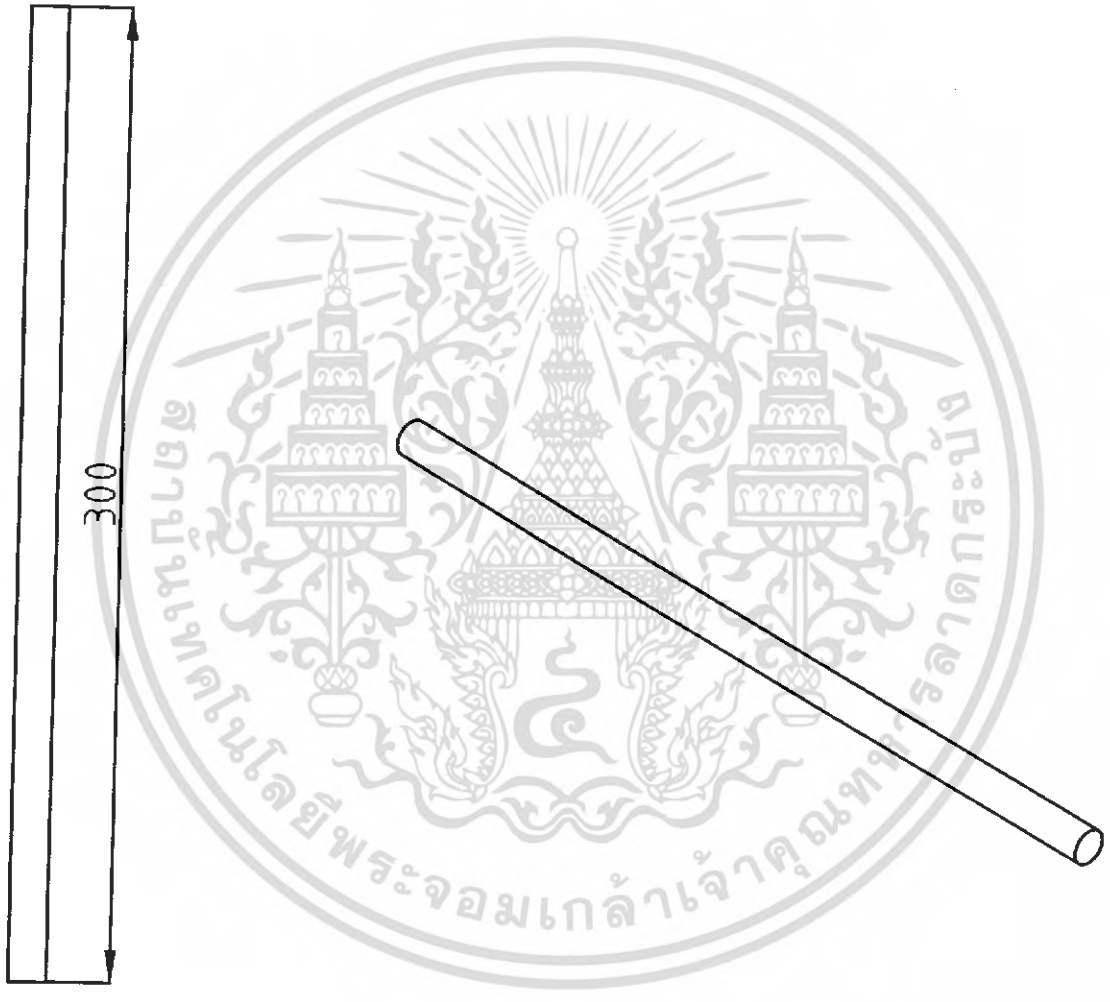
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



10	ตัวล็อกชิ้นงาน	ø5 x 50 mm	Stainless	010	1
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg

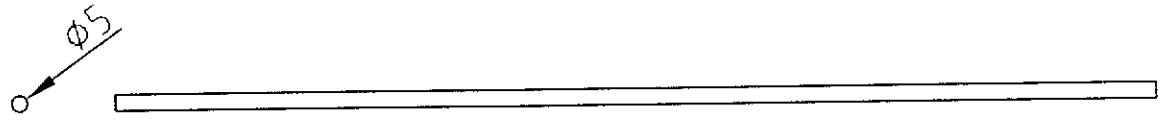
Scale 1 : 0.75	Drawn	Pongsiri Sukkaseam	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
	Designer	Pongsiri Sukkaseam	
	Approved		
	Development of Surface Grinding Machine		Drawing No. DSGM01

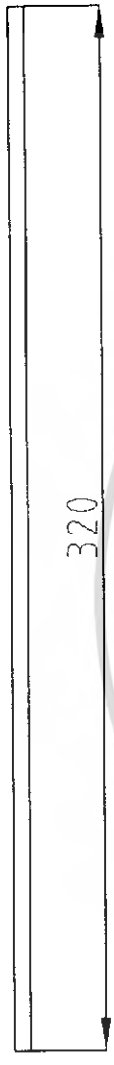
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



11	เพลา	ϕ12 x 300 mm	Stainless	011	2
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 2.2	Drawn: Pongsiri Sukkaseam		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer: Pongsiri Sukkaseam				
	Approved:				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

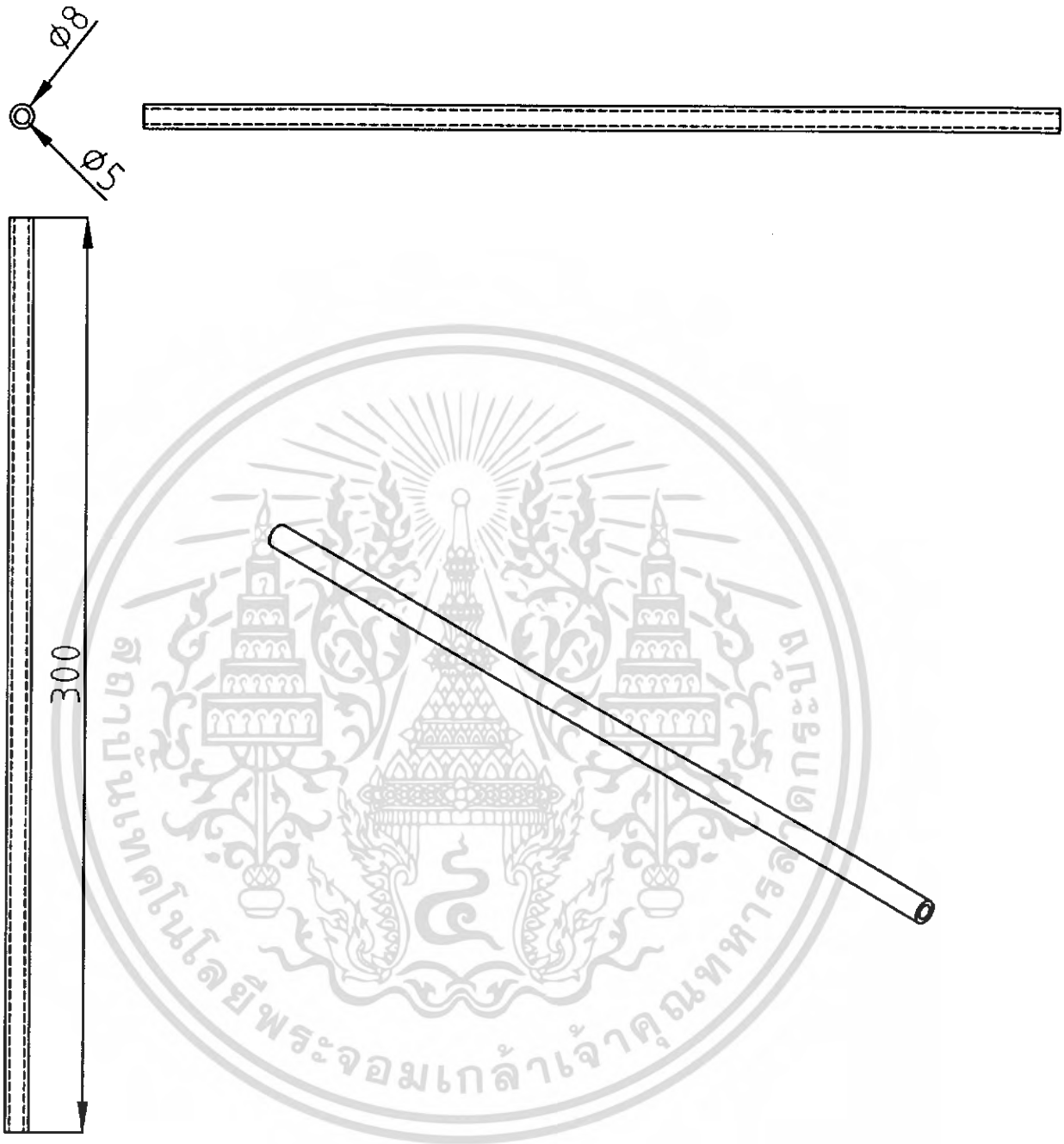
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





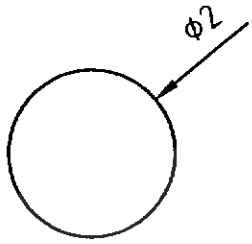
12	เพลาสวมลูกยางล็อกกระดาษทราย	ϕ5 x 310 mm	Stainless	012	2
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 2.2	Drawn: Pongsiri Sukkaseam		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer: Pongsiri Sukkaseam				
	Approved:				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

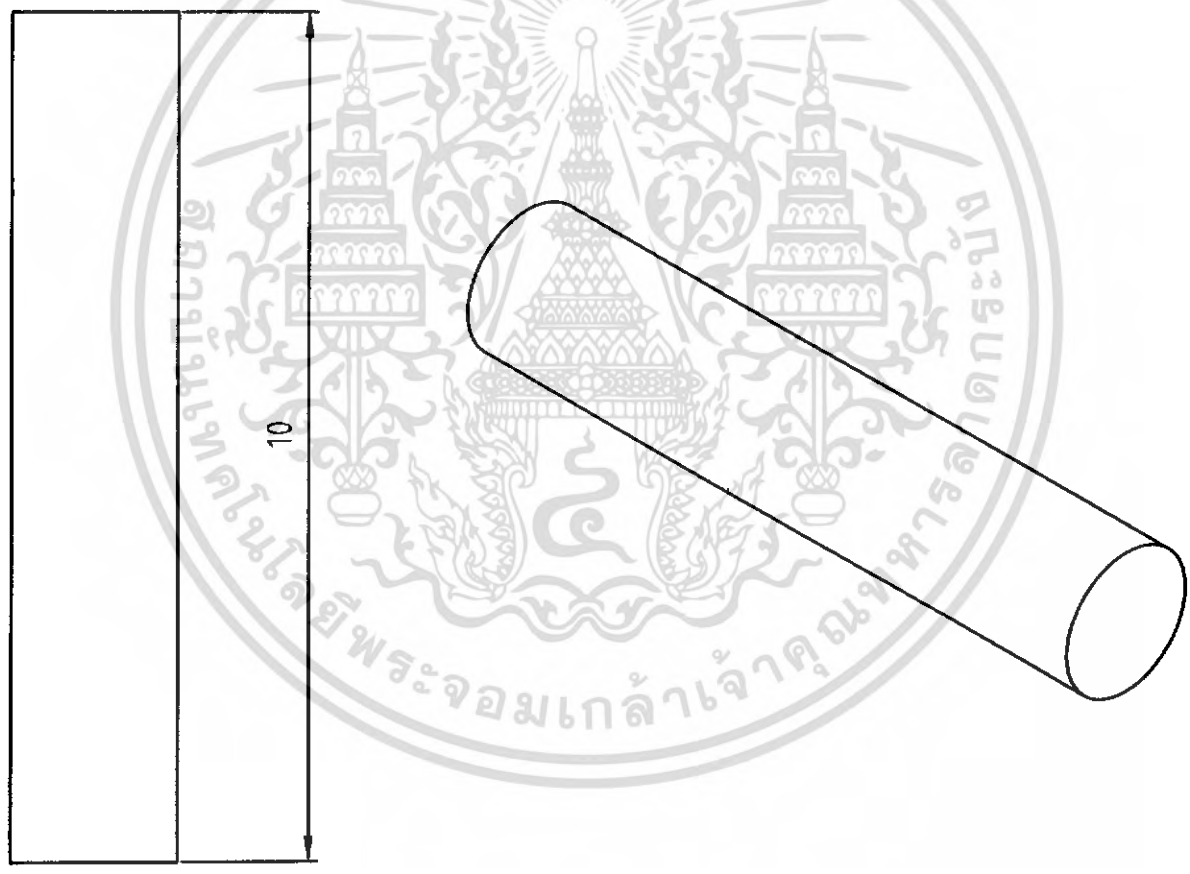
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



13	ลูกยางสวมเพลาล็อกกระดาษทราย	ø8 x 300	Rubber	013	2
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 2	Drawn	Pongsiri Sukkaseam	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer	Pongsiri Sukkaseam			
	Approved				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

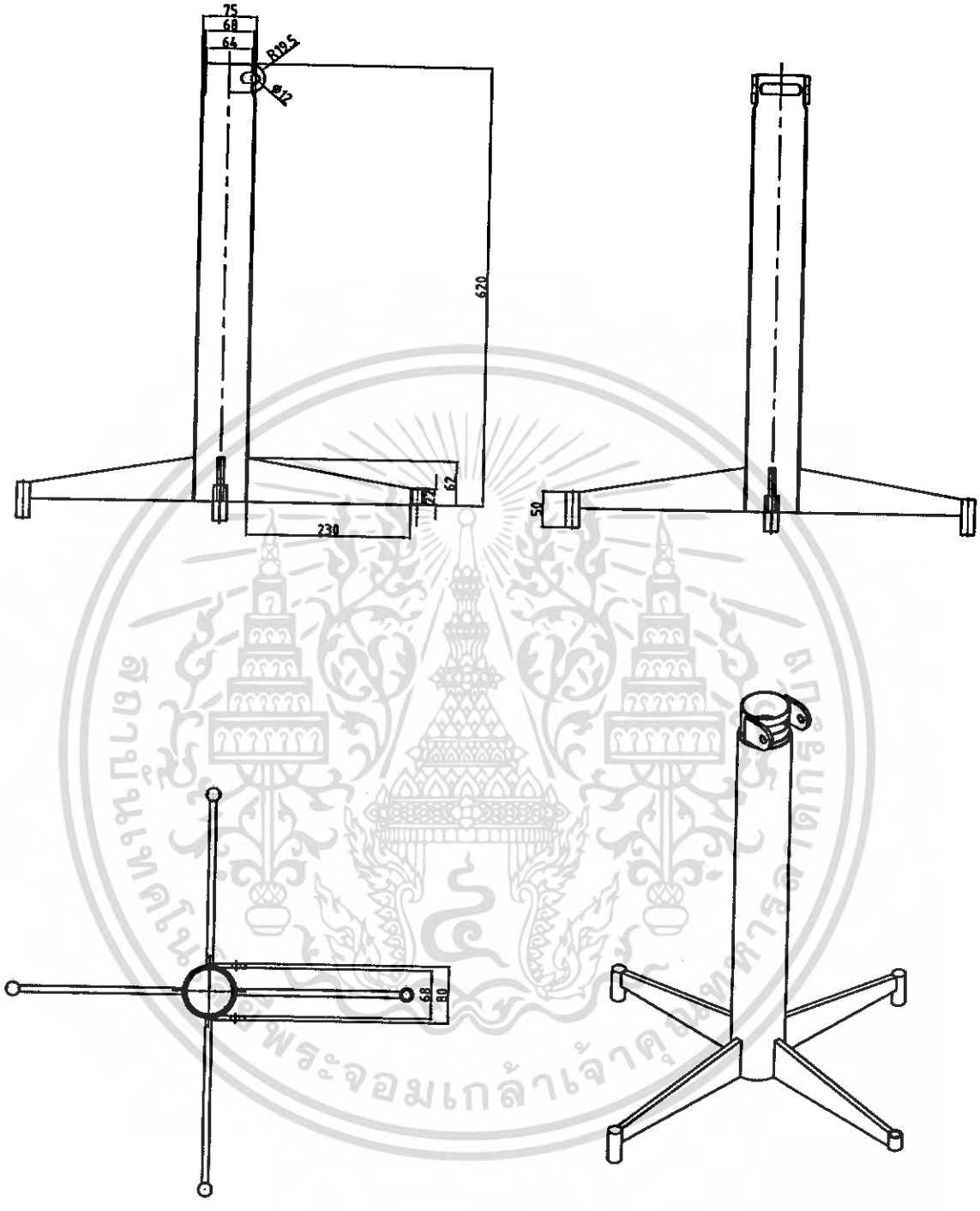
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





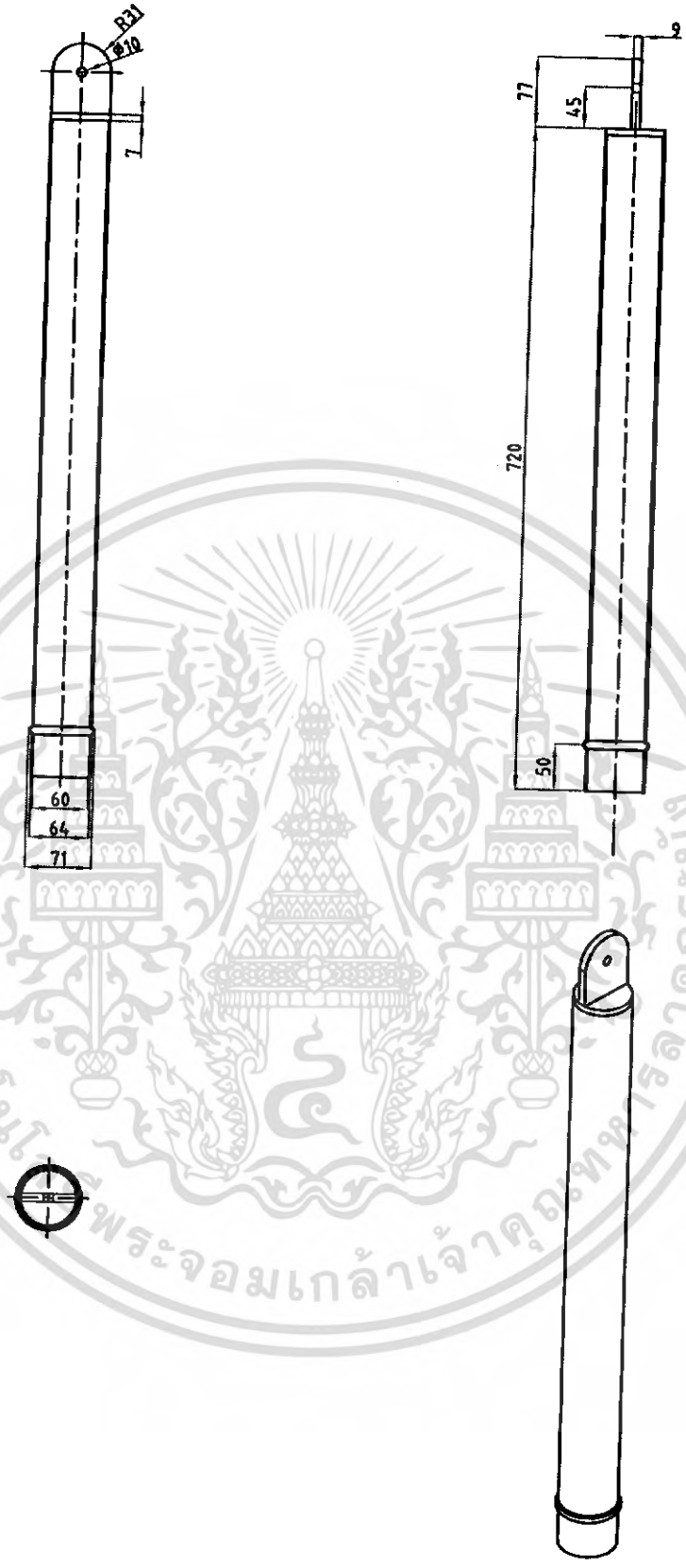
14	ปั๊มประคองกระดาษทราย	ϕ2 x 10 mm	Stainless	014	6
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 12 : 1	Drawn: Pongsiri Sukkaseam		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer: Pongsiri Sukkaseam				
	Approved:				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



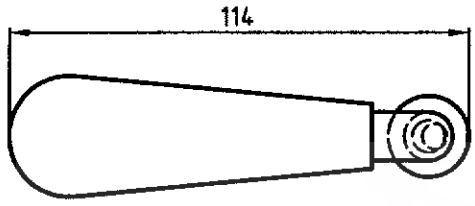
15	ฐานวางเครื่องขัด	ø76 x 620 mm	Iron	015	1
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 8.5	Drawn: Pongsiri Sukkaseam		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer: Pongsiri Sukkaseam				
	Approved:				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

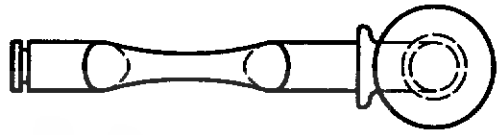
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

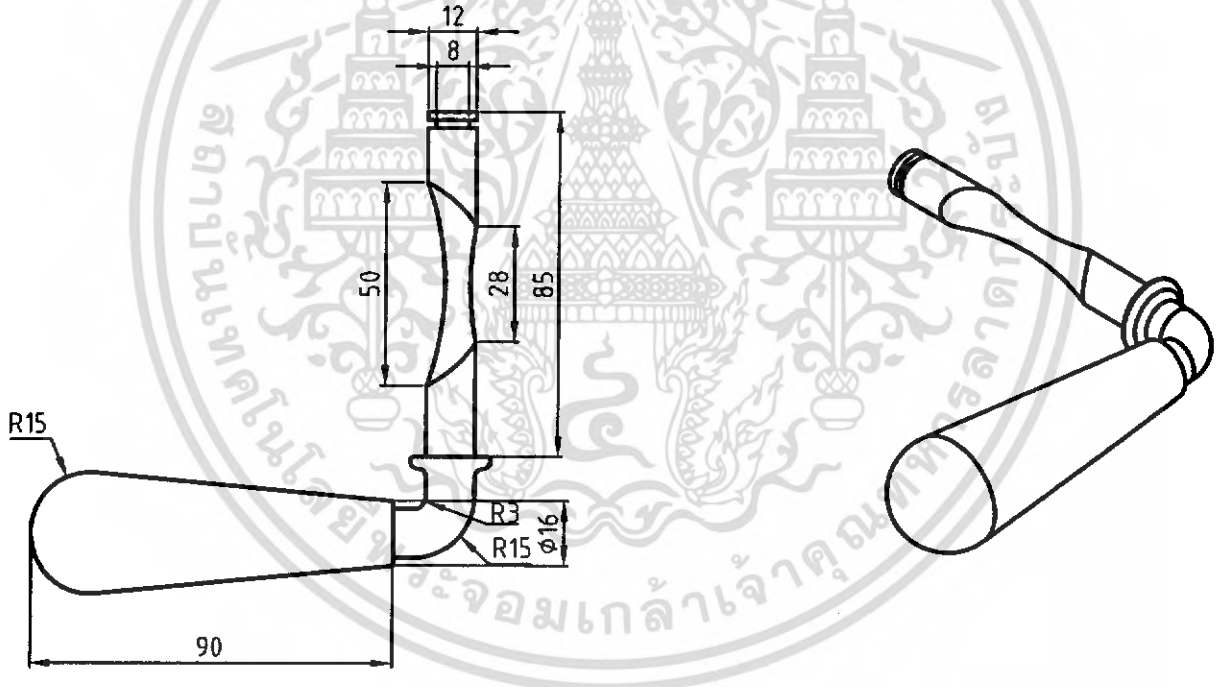


16	เพลาสไลด์	ø64 x 720 mm	Iron	016	1
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 7.1	Drawn: Pongsiri Sukkaseam		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer: Pongsiri Sukkaseam				
	Approved:				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

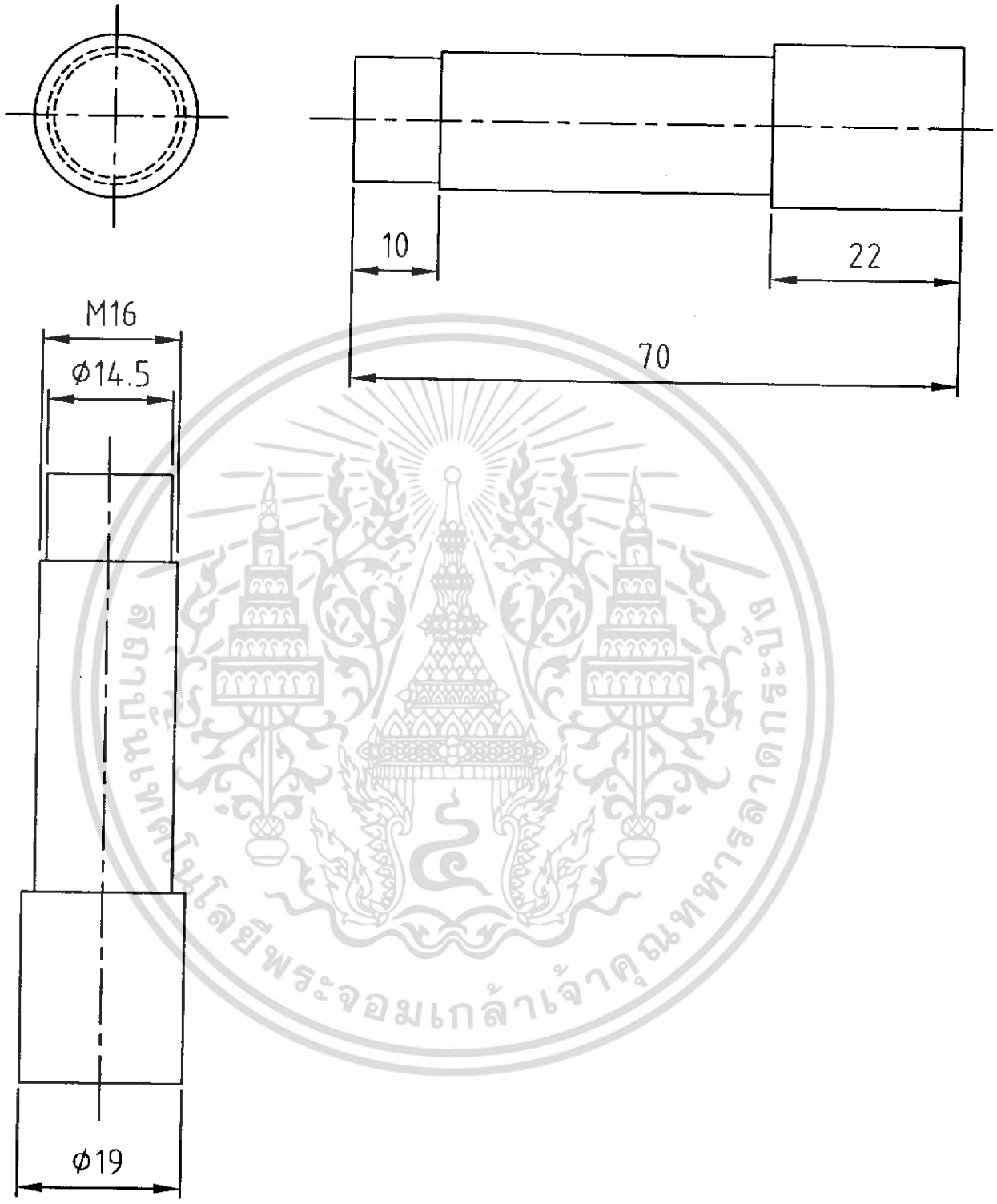






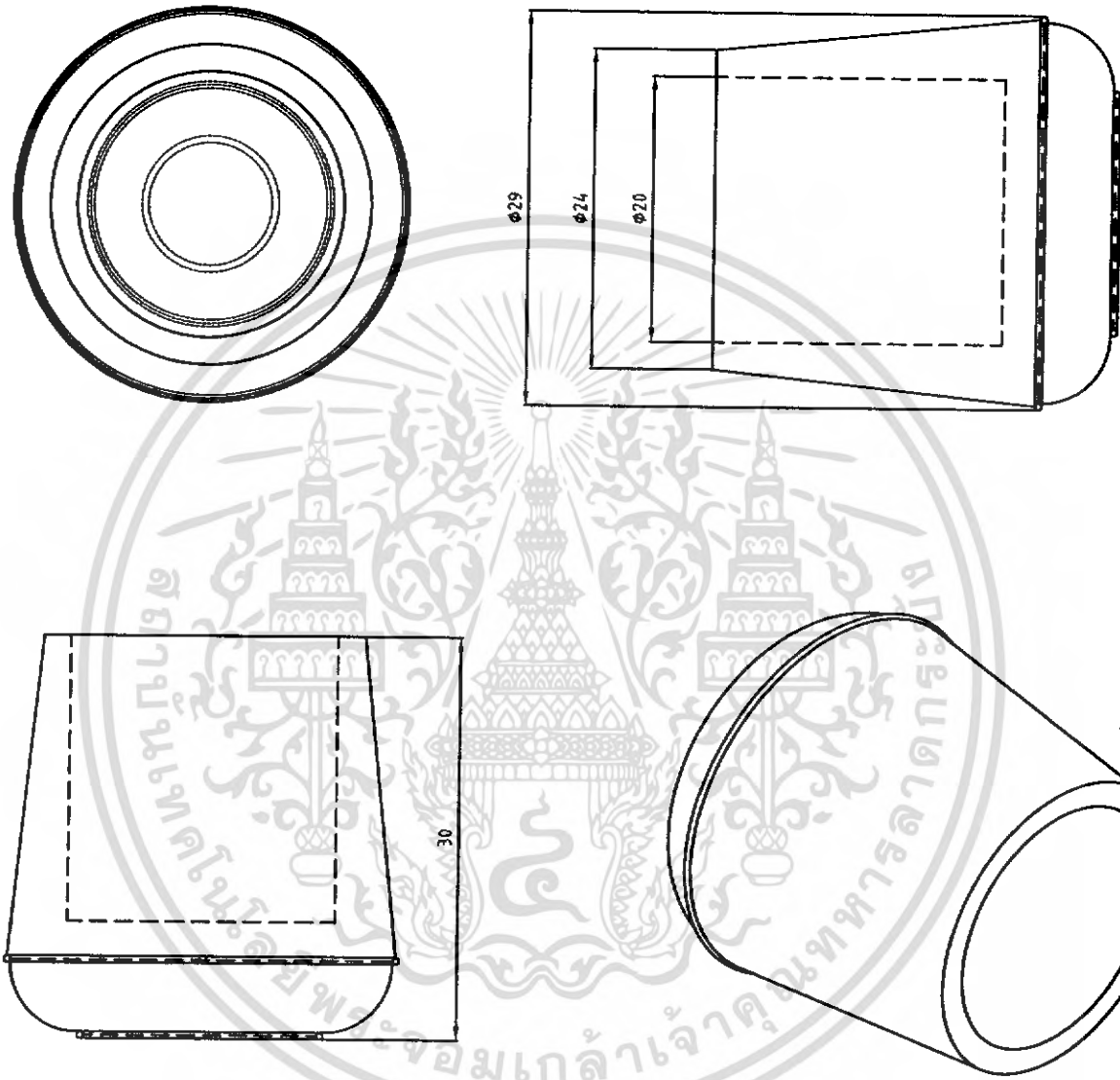
17	ตัวล็อกเพลาสไลด์	Φ20 x 150 mm	Iron	017	1
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 1.72	Drawn: Pongsiri Sukkaseam Designer: Pongsiri Sukkaseam Approved:		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



18	ตัวปรับระดับขาโต๊ะ	ϕ120 x 70 mm	Iron	018	1
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 0.65	Drawn: Pongsiri Sukkaseam		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer: Pongsiri Sukkaseam				
	Approved:				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



19	ลูกยางรองขาโต๊ะ	ø29 x 30 mm	Rubber	019	4
Pos.	Part Name and Remark	Dimention	Material	Drawing No.	Reg
Scale 1 : 0.5	Drawn: Pongsiri Sukkaseam		King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
	Designer: Pongsiri Sukkaseam				
	Approved:				
	Development of Surface Grinding Machine			Drawing No. DSGM01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้