

เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี 20 พ.ศ. 2548

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าจะโดยวิธีใด ๆ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

LOW SPEED SAW



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท

เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ
LOW SPEED SAW

นักศึกษา

นายปิ่นภพ พิกษ์อรรณพ
นายชัตติยะ มาลัย

รหัสประจำตัว 44015740
รหัสประจำตัว 44015726

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท

นางสาว กัญญา

(ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ
นักศึกษา	นายปิ่นภพ พิทักษ์อรรณพ
	นายชัตติยะ มาลัย
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

บทคัดย่อ

การเตรียมชิ้นงานเพื่อศึกษาโครงสร้างของวัสดุ เป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในงานโลหะวิทยา การเปลี่ยนแปลงจุดโครงสร้างของวัสดุเนื่องจากการเตรียมชิ้นงานเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในทางโลหะวิทยาหรือต้องการให้เกิดน้อยที่สุด เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำเป็นเครื่องมือในการตัดชิ้นงานที่ได้รับการยอมรับว่า สามารถสร้างความเสียหายทางจุลโครงสร้างให้กับชิ้นงานในปริมาณน้อย อย่างไรก็ตามเครื่องเลื่อยดังกล่าวมีราคาที่สูงมากและไม่สามารถผลิตได้ในประเทศไทย ปริญญานิพนธ์นี้แสดงถึงการออกแบบและการสร้าง เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ เพื่อใช้ในงานทางโลหะวิทยา

Thesis Title	Low Speed Saw
Students	Mr.Pinphob Pitakannob Mr.Kattiya Malai
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2003
Thesis Advisor	Dr.Kannachai Kanlayasiri

ABSTRACT

Sample preparation is very important in practical metallurgy. Microstructural changes due to the sample preparation is to be minimized. Low speed saw is a sectioning device that is widely accepted that it generates minimal microstructural changes in the sample. However, the low speed saw is not able to be manufactured in Thailand; therefore, it is very expensive. This project intends to design and fabricate a low speed saw to use in practical metallography.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่ม ขอขอบคุณ อาจารย์ภรณ์ชัย กัลยาศิริ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์รวมทั้งคำแนะนำแนวความคิด ความรู้ต่างๆ แนวทางแก้ไขปัญหาในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบคุณ ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ สำนักหอสมุดกลางที่ช่วยอำนวยความสะดวกและเอื้อเพื่อสถานที่ในการค้นคว้าหาข้อมูล และสุดท้ายที่ควรระลึกอย่างยิ่ง บิดาและมารดาที่เป็นผู้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและเป็นผู้ที่ทำให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

นายปิ่นภพ พิทักษ์อรรณพ

นายชัตติยะ มาลัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและลำดับความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค.....	3
2.2 การตัดแผ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	10
2.3 สารหล่อเย็นงานเจียระไน.....	16
2.4 ชนิดของสารหล่อเย็น.....	17
2.5 ทฤษฎีการคำนวณ.....	18

บทที่ 3 การออกแบบและการดำเนินงาน

3.1 การคำนวณ.....	27
3.2 อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์.....	35
3.3 ขั้นตอนการสร้างเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ.....	37

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ขั้นตอนการใช้เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ.....	42
4.2 ขั้นตอนการทดสอบเครื่อง.....	42
4.3 ผลการทดสอบเครื่อง เลื่อยความเร็วต่ำ.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบทางการใช้งาน 44

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและทดลองผล

5.1 สรุปและอภิปรายผล 45

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์ 45

5.3 ข้อเสนอแนะ 46

ภาคผนวก 47

บรรณานุกรม 65



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	แก้ปัญหาสำหรับการใช้แผ่นตัด.....	5
ตารางที่ 2.2	สารละลายที่ใช้ทั่วไปในการกัดโครงสร้างโลหะ.....	9
ตารางที่ 2.3	ขนาดเม็ดเกรนที่ใช้กับล้อหินเจียรใน.....	14
ตารางที่ 2.4	ขนาดระบุของเพลามาตรฐาน ISO/R775-1969.....	19
ตารางที่ 2.5	ค่าตัวประกอบความล้าตามลักษณะของแรงที่มากระทำ.....	22
ตารางที่ 2.6	ขนาดลิ้มมาตรฐานที่ใช้กับเพลานาต่าง ๆ.....	24
ตารางที่ 3.1	ตัวอย่างข้อกำหนดคุณสมบัติของไมโครสวิตซ์ทางไฟฟ้า.....	36
ตารางที่ 4.1	ผลการทดลองการตัดกระจก.....	43
ตารางที่ 4.2	ผลการทดลองการตัดใบเลื่อย.....	43
ตารางที่ 4.3	ผลการทดลองการตัดดอกตัวป M4×0.7.....	43
ตารางที่ 4.4	ตรวจสอบการแกว่งของเพลาก่อน-หลัง และระหว่างการตัดกระจก.....	44
ตารางที่ 4.5	ตรวจสอบการแกว่งของเพลาก่อน-หลังและระหว่างการตัดใบเลื่อย.....	44
ตารางที่ 4.6	ตรวจสอบการแกว่งของเพลาก่อน-หลังและระหว่างการตัดดอกตัวป M4×0.7.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VI และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	ลักษณะการคัดชิ้นงาน.....	4
รูปที่ 2.2	ชิ้นงานที่มีตำหนิที่เกิดจากรอยขีดข่วน.....	7
รูปที่ 2.3	ชิ้นงานที่มีตำหนิที่เกิดจากการหลุดของกราฟิ์.....	7
รูปที่ 2.4	ชิ้นงานที่มีตำหนิที่เกิดจากริ้วเป็นหาง.....	8
รูปที่ 2.5	หลักการ โดยทั่วไปของกล้องจุลทรรศน์.....	10
รูปที่ 2.6	การเกิดเศษของเม็ดหินเจียรระไนที่เกิดจากการคัด.....	11
รูปที่ 2.7	เกร็ดของล้อหินเจียรระไน.....	14
รูปที่ 2.8	โครงสร้างของล้อหินเจียรระไน.....	15
รูปที่ 2.9	การแตกแรงลงบนแรงที่ตั้งฉากกัน.....	18
รูปที่ 2.10	เพลายู่ภายใต้แรงต่างๆ.....	20
รูปที่ 2.11	ความเค้นบนลิ้ม.....	23
รูปที่ 2.12	แรงบนรอยต่อด้วยลิ้ม.....	25
รูปที่ 3.1	การวิเคราะห์แรงที่มากระทำกับใบเลื่อย.....	27
รูปที่ 3.2	ขนาดของลิ้มที่ใช้บนร่องลิ้ม.....	31
รูปที่ 3.3	แขนหมุน.....	31
รูปที่ 3.4	ปากจับชิ้นงาน.....	32
รูปที่ 3.5	แสดงการ Take Moment หาขนาดค้ำน้ำหนัก.....	33
รูปที่ 3.6	แรงบนสลัก.....	33
รูปที่ 3.7	อุปกรณ์ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ (Control Pack).....	37
รูปที่ 3.8	การต่อวงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ (Control Pack).....	37
รูปที่ 3.9	ชุดฐานเครื่อง.....	38
รูปที่ 3.10	ชุดแขนหมุน.....	38
รูปที่ 3.11	(ก)ชุดรองรับถังน้ำมันและถังใส่น้ำมัน.....	39
รูปที่ 3.11	(ข)ชุดรองรับถังน้ำมันและถังใส่น้ำมัน.....	39
รูปที่ 3.12	(ก)เพลาลูกและชุดประกอบเพลาลูก.....	39
รูปที่ 3.12	(ข)เพลาลูกและชุดประกอบเพลาลูก.....	40
รูปที่ 3.13	วงจรไฟฟ้า.....	40
รูปที่ 3.14	เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การเตรียมชิ้นงานเพื่อศึกษาโครงสร้างของวัสดุ เป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในงานโลหะวิทยา การเปลี่ยนแปลงจุดโครงสร้างของวัสดุ เนื่องจากการเตรียมชิ้นงานเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการในทางโลหะวิทยาหรือต้องการให้เกิดน้อยที่สุด เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำเป็นเครื่องมือในการตัดชิ้นงานที่ได้รับการยอมรับว่า สามารถสร้างความเสียหายทางจุดโครงสร้างให้กับชิ้นงานในปริมาณน้อย อย่างไรก็ตามเครื่องเลื่อยดังกล่าวมีราคาที่สูงมากและไม่สามารถผลิตได้ในประเทศไทย ปรินุณานิพนธ์นี้แสดงถึงการออกแบบและการสร้าง เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ เพื่อใช้ในงานทางโลหะวิทยา

1.1 ความเป็นมาและลำดับความสำคัญของปัญหา

การศึกษาโครงสร้างของวัสดุนั้นมีความสำคัญในทางวิศวกรรม ในการศึกษาดังโครงสร้างของวัสดุ เพื่อให้เกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด ขั้นตอนการเตรียมวัสดุที่จะนำไปทดสอบนั้นมีความสำคัญมาก ความเสียหายที่เกิดจากการตัดวัสดุจะมีผลต่อโครงสร้างของวัสดุ เพราะฉะนั้นการตัดเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายหรือทำให้เกิดความเสียหายอย่างน้อยที่สุดนั้น ควรให้ความสำคัญเป็นพิเศษ

ในปัจจุบันเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำซึ่งเป็นเครื่องมือตัดที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายหรือ ทำให้เกิดความเสียหายน้อยมากนั้น ยังไม่มีการผลิตในประเทศไทย และยังไม่มีการใช้แพร่หลายภายในประเทศไทย แต่มีเครื่องดังกล่าวนำเข้าจากต่างประเทศและจำหน่ายในราคาที่สูงมาก

ดังนั้น จึงได้มีการออกแบบและสร้างเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ ในการทำปรินุณานิพนธ์นี้ เครื่องเลื่อยจะสามารถตัดวัสดุที่จะนำมาทดสอบได้ โดย ไม่เกิดความร้อนหรือเกิดความร้อนกับวัสดุน้อยที่สุด และยังเป็นการผลิตค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้ออุปกรณ์ชนิดนี้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

สร้างเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ(low speed saw)เพื่อใช้ตัดชิ้นงานที่ต้องการนำไปทดสอบทางโลหะวิทยา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ออกแบบเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ
2. สร้างเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ
- 3 ทดสอบการใช้งานเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษาการทำงานของเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ
2. ได้เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ
3. ได้ผลการทดลองและแก้ไขข้อบกพร่องเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ
4. ได้นำเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำไปใช้งานได้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา² และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในการตัดวัสดุนั้นจะมีความเสียหายทางกลและ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางโลหะภายในเนื้อวัสดุของวัสดุนั้นๆ โครงสร้างของวัสดุที่เปลี่ยนไปทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุ ทำให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและคุณสมบัติของวัสดุผิดไปด้วย

2.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

การตรวจสอบสมบัติของวัสดุก่อนนำไปใช้งานรวมถึงการตรวจหาสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่มีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งในแต่ละวิธีการตรวจสอบสมบัติเหล่านั้น มีขั้นตอนที่สำคัญคือ “การเตรียมตัวอย่าง” ถ้าการวิเคราะห์และการอธิบายการเตรียมตัวอย่างผิดวิธี หรือไม่ดีพอจะทำให้โครงสร้างของวัสดุเปลี่ยนไป ย่อมทำให้ผลการตรวจสอบที่ได้ไม่ถูกต้อง เนื่องจากสมบัติทางกลและอิเล็กทรอนิกส์ของวัสดุขึ้นอยู่กับโครงสร้างจุลภาคของวัสดุ ฉะนั้นในการเตรียมตัวอย่างเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทุกขั้นตอนจึงมีความสำคัญ ต้องอาศัยประสบการณ์และความประณีตอย่างสูง

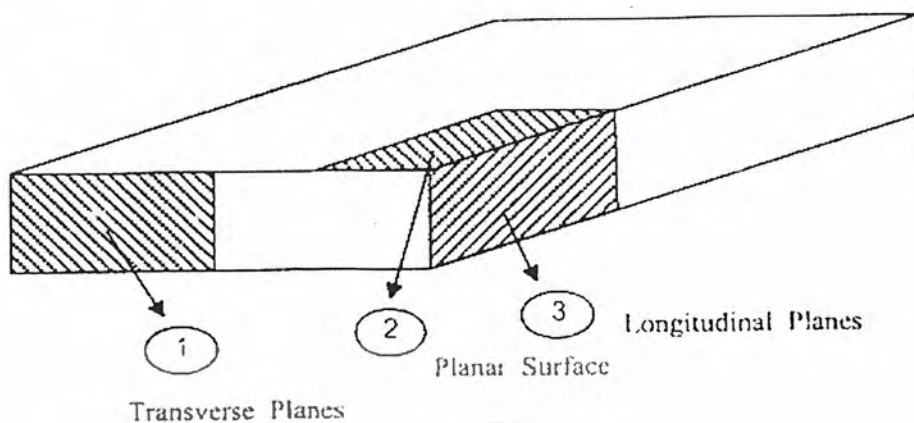
วิธีการตรวจสอบโครงสร้างแบ่งได้ 2 กรณี

1. การศึกษาโครงสร้างมหภาค การตรวจสอบด้วยตาเปล่า หรือใช้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายไม่เกิน 5 เท่า เป็น การตรวจสอบที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า ใช้ตรวจสอบหารอยร้าว รูพรุน หรือการไหลของเม็ดเกรน เพื่อใช้ประโยชน์ในทางมาโครแฟก โครงกราฟิ ในกรณีการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยใช้เลนส์ขยายส่องดูลักษณะรอยแตกหัก
2. การศึกษาโครงสร้างจุลภาค การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายสูง(20 เท่าขึ้นไปจนถึงกำลังขยายสูงสุดที่ 1,000 เท่า) การตรวจสอบกรณีนี้เป็นการตรวจสอบเพื่อหาประเภทของเม็ดเกรน โครงสร้างจากงานหล่อ การเปลี่ยนรูปของวัสดุ รอยร้าวแบบต่างๆ รุอากาศ และพวกอากาศฝังใน

2.1.1 การคัดเลือกตัวอย่าง

ตัวอย่างที่จะนำมาศึกษาโครงสร้างจุลภาคจะต้องเป็นตัวแทนชิ้นงานทั้งชิ้นที่นำมาทำการตรวจสอบจริงๆ ดังนั้น การเก็บตัวอย่างต้องกำหนดจำนวนชิ้นงาน ตำแหน่ง และระนาบ ที่จะต้องทำการตรวจสอบให้ถูกต้องตามความจำเป็นหรือ มาตรฐานกำหนด โดยชิ้นงานแต่ละประเภทที่ต้องการ จะมีวิธีการเลือกที่จะนำมาตรวจสอบแต่ละวิธีแตกต่างกัน เช่น ชิ้นงานที่ผ่านการรีดต้องตรวจสอบทั้งทางภาคตัดตามยาว และภาคตัดตามขวาง โลหะที่ได้จากการเทแบบต้องตรวจสอบกับด้านที่ขนานกับทิศทางการแข็งตัวของโลหะ สำหรับเหล็กเส้นควรตรวจสอบบริเวณปลายทั้งสองด้านหรือบริเวณการแข็งตัวของโลหะ ส่วนโลหะที่ผ่านการทุบหรือตีขึ้นรูป ให้ตรวจสอบตรงบริเวณระนาบที่ขนานกับทิศทางการไหลของเนื้อวัสดุและที่สำคัญ ถ้าชิ้นงานมีรอยแตกควรเลือกชิ้นงานที่จะทดสอบให้ห่างจากบริเวณนั้นๆพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ลักษณะการตัดชิ้นงาน(วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ, 2543)

2.1.2 การเตรียมตัวอย่าง

เมื่อเลือกบริเวณที่จะนำมาศึกษาโครงสร้างได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการเตรียมผิวให้เรียบร้อยและกัดด้วยสารเคมี เพื่อให้เกิดภาพโครงสร้างที่ชัดเจนขึ้น ถ้าการเตรียมไม่ดีถึงแม้ว่าจะใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีคุณภาพดีเท่าใดก็ตาม ก็ไม่สามารถเห็นโครงสร้างที่ถูกต้องของโลหะนั้นได้ และอาจทำให้การแปลความหมายของโครงสร้างผิดไป

วิธีการเตรียมผิวหน้าตัวอย่างมีดังนี้ 1.การตัด 2.การทำผิวเรียบ 3.การขัดหยาบ 4.การขัดละเอียด 5.การกัดด้วยสารเคมี และ 6.การส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

1 การตัด

การตัดตัวอย่างเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสม และเป็นตัวแทนของชิ้นงานขนาดใหญ่ได้จะช่วยให้การเตรียมผิวชิ้นงานสะดวกขึ้นและใช้เวลาน้อยลง องค์ประกอบที่มีผลต่อการตัดชิ้นงานขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาตัด วัสดุที่ทำใบตัด ความเร็วในการตัด และอัตราการป้อนชิ้นงาน ปริมาณและชนิดของสารหล่อเย็นที่ใช้ ในการตัดวัสดุบางชนิดอาจทำให้เกิดความเสียหายที่พื้นผิววัสดุซึ่งจะมีความลึกแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุและวิธีการตัด ผิวที่เสียหายนี้สามารถกำจัดออกไปได้หลังจากนำไปขัดหยาบและขัดละเอียดต่อไป

การเลือกใบตัดจะขึ้นอยู่กับความแข็งและความเหนียวของวัสดุ เช่น เซรามิก จะตัดด้วยใบตัดที่ทำจากผงเพชร โลหะกลุ่มเหล็กจะตัดด้วยใบตัดที่ทำจากโลหะผงอะลูมิเนียมออกไซด์ยึดประสานด้วยเบเคอไลท์ เมื่อเปรียบเทียบกับใบตัดที่ทำด้วยผงเพชรจะมีอายุการใช้งานนานกว่า เนื่องจากเม็ดผงตัดมีความแข็งสูงมาก ใบตัดชนิดนี้จะมีเม็ดผงตัดเคลือบอยู่ตามเส้นรอบวงของแผ่นจานโลหะแต่ราคาจะแพง ส่วนใบตัดชนิดที่ทำจากผงอะลูมิเนียมออกไซด์ยึดประสานด้วยเบเคอไลท์จะสึกเร็วแต่ราคาจะถูกกว่าชนิดแรก ใบตัดชนิดนี้เม็ดผงตัดจะถูกยึดด้วยตัวประสานทั่วทั้งใบ

ตารางที่ 2.1 วิธีแก้ปัญหาสำหรับการใช้แผ่นตัด

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
ใหม่เป็นสีน้ำเงิน	ตัวอย่างร้อนเกินไป	- เพิ่มอัตราการหล่อเย็น - ลดความดันในการตัด
ใบตัดสึกเร็วเกินไป	พันธะยึดเหนี่ยวของใบตัดแตกง่ายเกินไป	- เลือกใบตัดที่แข็งแรงขึ้น - ลดความดันในการตัด
ใบตัดแตกบ่อย	กระจายสารหล่อเย็นไม่สม่ำเสมอ การจับตัวอย่างหลวมเกินไป	- ทำให้สารหล่อเย็นกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ - จับชิ้นงานให้แน่น
มีการต้านทานต่อการตัด	การแตกของเม็ดใบตัดช้า	- เลือกใบตัดนุ่มลง - ลดอัตราการไหลของสารหล่อเย็น

2. การทำตัวเรือน

ตัวอย่างที่ตัดแล้วมีขนาดใหญ่อาจไม่จำเป็นต้องทำตัวเรือนก็สามารถจับยึดได้ แต่ตัวอย่างที่มีขนาดเล็กจำเป็นต้องมีการทำตัวเรือนเพื่อให้สะดวกในการจับถือและเตรียมตัวอย่างในขั้นตอนต่างๆ นอกจากนี้บางชิ้นงานยังต้องรักษาสภาพผิวของชิ้นงานหรือรักษาความหนาของชั้นเคลือบก็มีความจำเป็นต้องทำตัวเรือน ก่อนทำตัวเรือนต้องทำความสะอาดตัวอย่างเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกซึ่งจะช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างผิวงานกับเรซิน โดยใช้เครื่องล้างทำความสะอาดด้วยคลื่นเสียงอัลตราโซนิกส์ การทำตัวเรือน มี 2 แบบคือ การทำตัวเรือนแบบร้อน และการทำตัวเรือนแบบเย็น

ก. การทำตัวเรือนแบบร้อน

วิธีนี้ใช้ความร้อนและความร้อนอัดเรซินที่ทำเป็นตัวเรือน โดยวางผิวหน้าตัวอย่างที่ต้องการศึกษาลงบนโคबरเรซินรอบตัวอย่าง แล้วให้ความร้อนและความดันจนเรซินหลอมหมด ทั้งให้เรซินแข็งตัว ถ้าต้องการประหยัดเวลาอาจใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำหรืออากาศ นำตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมตัวเรือนออกไปเตรียมผิวหน้าด้วยขั้นตอนต่อไป

เรซินที่ใช้แบ่งได้ดังนี้

- เทอร์มอเซตติ้งเรซิน การใช้เรซินชนิดนี้ต้องควบคุมความร้อนและความดันในขณะที่ทำตัวเรือน แต่สามารถนำออกจากเครื่องทำแบบที่อุณหภูมิสูง เทอร์มอเซตติ้งเรซินที่นิยมที่สุดคือ เบเคอไลท์
- เทอร์มอพลาสติกเรซิน การใช้เรซินชนิดนี้ต้องการความร้อนและความดันในขณะที่ทำแบบเช่นกัน แต่ต้องทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้องภายใต้ความดัน เพื่อให้เกิดการหดตัวน้อยที่สุด ดังนั้นความยุ่งยากของการใช้งานเรซินชนิดนี้จึงมีมากกว่าเทอร์มอเซตติ้งเรซิน ข้อดีคืออัตราการสึกเนื่องจากการขัดหยาบและขัดละเอียดจะน้อยกว่า แต่มีข้อเสียคือจะมีการบิดเบี้ยวของตัวเรือน เมื่อมีความร้อนเกิดขึ้นจากการขัดสูงเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การทำตัวเรือนแบบเย็น

เนื่องจากความร้อนและความดันสามารถทำให้ตัวอย่างโลหะบางชนิดเกิดความเสียหายหรือเปลี่ยนโครงสร้างได้ ดังนั้นจึงต้องใช้การทำตัวเรือนแบบเย็นแทนการทำตัวเรือนแบบร้อน วิธีนี้เรซินจะถูกผสมกับสารช่วยในการแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องและไม่ต้องใช้ความดันในการทำแบบ เรซินที่ผสมแล้วจะถูกเทลงในแบบที่มีตัวอย่างวางผิวหน้าคว่ำไว้เมื่อเรซินแข็งตัวสามารถถอดออกจากแบบได้ ปัจจุบันท้องตลาดมีเรซินให้เลือกทั้งแบบชนิดผงและชนิดเหลวจำหน่าย

เรซินที่ใช้ทำตัวเรือนสามารถจำแนกได้ ดังนี้

- อะคริลิก ใช้เวลาในการแข็งตัวประมาณ 30 นาที
- พอลิเอสเตอร์ ใช้เวลาในการแข็งตัวนานกว่าอะคริลิก และทนต่อสารเคมีที่ใช้ทาง โลหะวิทยา
- อีพอกซี มีการหดตัวน้อยที่สุดทนสารเคมี(ยกเว้นกรดเข้มข้น) เวลาในการแข็งตัวขึ้นอยู่กับชนิดที่บริษัทผู้ขายผลิตขึ้น

3. การขัดหยาบ

การขัดหยาบเป็นการกำจัดเนื้อโลหะที่เสียรูปเนื่องจากการตัด ขั้นตอนนี้เริ่มด้วยการขัดด้วยกระดาษทรายเรียงจากหยาบไปละเอียดเช่น เบอร์ 180 220 320 400 600 800 1,000 และ 1,200 เป็นต้น การขัดด้วยกระดาษทรายนี้จำเป็นต้องป้องกันความร้อนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการขัด โดยใช้น้ำไหลผ่านระหว่างตัวอย่างกับกระดาษทราย น้ำยังช่วยพาผงโลหะที่หลุดจากการขัดทิ้งไปด้วย

การขัดควรขัดไปแนวเดียวกันตลอด ไม่หมุนตัวอย่างขณะขัด เมื่อรอยขัดอยู่ในทิศทางเดียวกันหมดจึงเปลี่ยนกระดาษทรายเบอร์ที่ละเอียดขึ้น โดยหมุนตัวอย่างให้ตั้งฉากกับรอยขัดเดิม แล้วขัดแบบนี้จนถึงกระดาษทรายเบอร์ที่ละเอียดที่สุด ล้างน้ำให้สะอาดแล้วฉีดไล่ความชื้นด้วยแอลกอฮอล์แล้วเป่าให้แห้งก่อนจะนำไปขัดละเอียดต่อไป

4. การขัดละเอียด

ตัวอย่างเมื่อผ่านมาถึงขั้นตอนนี้จะถูกขัดด้วยผงขัด เพื่อให้ผิวเรียบปราศจากรอยขีดข่วน เป็นเงา ผงขัดที่ใช้ต้องเหมาะสมกับผิวขัดและชนิดตัวอย่างที่จะขัด ปริมาณผงขัดที่ใช้ขึ้นอยู่กับความแข็งของชิ้นงาน เพราะผงขัดจะทำให้ตัวอย่างสึกเร็วกว่า การใช้สารหล่อลื่นเพื่อช่วยในการขัดจะใช้น้ำหรือน้ำมันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ วัสดุอ่อนใช้สารหล่อลื่นปริมาณมากเพื่อป้องกันการเสียหายของผิวชิ้นงานและใช้ผงขัดน้อยเนื่องจากผงขัดสึกหรอน้อย สำหรับวัสดุแข็งใช้สารหล่อลื่นน้อยแต่ใช้ผงขัดปริมาณมาก เนื่องจากการสึกหรอของผงขัดเร็ว การใช้ความเร็วรอบในการขัดสูงเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองผงขัดและสารหล่อลื่น เพราะสารเหล่านี้ถูกเหวี่ยงออกจากงานขัด ในกรณีที่ใช้แรงกดมากเกินไปจะทำให้เกิดความร้อนเนื่องจากการขัด

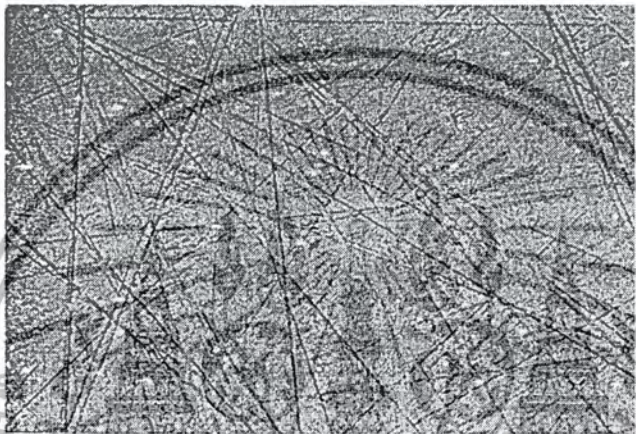
ชนิดของผงขัดที่ใช้ทั่วไปมีดังนี้

- ผงขัดอลูมินา หรืออลูมิเนียมออกไซด์ มีทั้งชนิดผงหรือผสมอยู่ในรูปคล้ายยาสีฟัน หรือชนิดที่เป็นสารแขวนลอยในกรณีที่เป็นชนิดผงจะต้องนำมาผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วนที่ขึ้นกับชนิดของโลหะที่นำมาขัด ผงขัดจะมีขนาดต่างๆ กันเช่น 1, 0.3 และ 0.05 ไมครอนนิยมใช้ผงขัดชนิดนี้ในการขัดละเอียดโลหะเหล็ก
- ผงขัดแมกนีเซียม หรือแมกนีเซียมออกไซด์ เหมาะสำหรับการขัดโลหะอลูมิเนียม และโลหะแมกนีเซียมผสม
- ผงโครเมียมออกไซด์ ใช้ขัดเหล็ก
- ผงเพชร มีจำหน่ายในรูปแบบครีมคล้ายยาสีฟันหรือสารแขวนลอย ผงเพชรมีราคาแพงแต่มีประสิทธิภาพในการขัดสูงได้ระนาบดีทำให้ลดเวลาขัดลงผงเพชรสามารถนำไปขัดวัสดุได้ทุกชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากขั้นตอนการเตรียมนี้แล้วตัวอย่างจะถูกนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ตรวจสอบตำหนิหรือข้อบกพร่องที่อาจหลงเหลืออยู่ก่อนนำไปกัดด้วยสารเคมี เพื่อให้เกิดโครงสร้างต่อไป ตำหนิหรือข้อบกพร่องที่มักพบทั่วไปได้แก่

ก. รอยขีดข่วนลักษณะดังรูปที่ 2.2 เกิดจากการลบรอยขีดข่วนไม่หมด เมื่อเปลี่ยนไปขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ละเอียดขึ้น ดังนั้นหลังจากเสร็จจากกรรมวิธีขัดผิวหน้าแล้ว จะปรากฏรอยขีดข่วนชัดเจนขึ้นวิธีแก้ไข ต้องขัดกระดาษทรายให้เกิดรอยขัดในแนวทางเดียวกันตลอด แล้วจึงเปลี่ยนไปขัดเบอร์ที่ละเอียดกว่า อย่างหมุนชิ้นงานไปมาระหว่างการขัดชิ้นงาน



รูปที่ 2.2 ชิ้นงานที่มีตำหนิที่เกิดจากการรอยขีดข่วน(วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ, 2543)

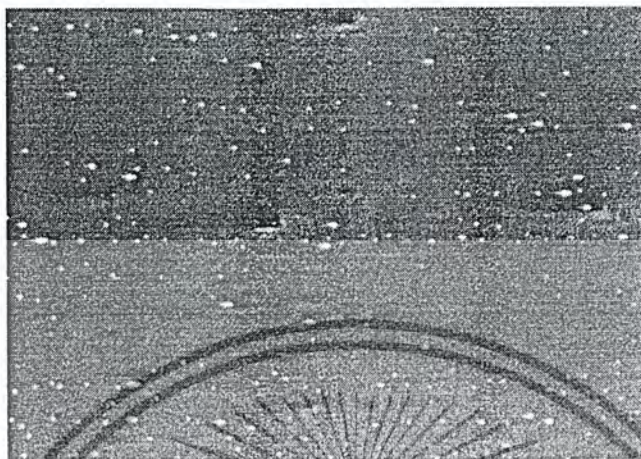
ข. การหลุดออกของกราฟไฟต์หรือสารปนเปื้อน ลักษณะดังรูป 2.3 สาเหตุเนื่องจากใช้แรงกดมากเกินไปวิธีแก้ไข ขนของผ้าขัดยาวเกินไป ใช้เวลาในการขัดนานเกินไป วิธีแก้ไข ควรใช้ผ้าขนที่ไม่ยาวนั้น อย่ากดแรงเกินไปใช้เวลาในการเตรียมให้เหมาะสม



รูปที่ 2.3 ชิ้นงานที่มีตำหนิที่เกิดจากการหลุดของกราฟไฟต์(วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ, 2543)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ริวเป็นหางลักษณะดังรูปที่ 2.4 เกิดจากการให้แรงไม่สม่ำเสมอในขั้นตอนการจัดละเอียด วิธีแก้ไข ให้แรงขัดสม่ำเสมอทุกทิศทาง



รูปที่ 2.4 ชิ้นงานที่มีคาน้ำที่เกิดจากริวเป็นหาง(วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชาและคณะ, 2543)

5. การกัดด้วยสารเคมี

การกัดด้วยสารเคมี คือการทำปฏิกิริยาระหว่างผิวหน้าที่ขัดมันแล้วกับสารเคมีที่เรียกว่า “สารกัด” สารกัดจะทำปฏิกิริยากับส่วนต่างๆของ โครงสร้างด้วยอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเนื้อวัสดุบริเวณนั้น ผิวของชิ้นงานที่มีความสูงต่ำจะเกิดการเซาะคล้ายกับการกัดเซาะผิวเปลือกโลก ทำให้เห็นความแตกต่างระหว่างยอดเขากับหุบเขา บริเวณของเกรนและในเกรนจะถูกกัดด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน จากกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเกรนแยกออกเป็นขอบเขต

ด้วยเส้นแนวที่เรียกว่า ขอบเกรน ในความเป็นจริงแล้วเกรนมี 3 มิติ แต่โลหะเป็นสารทึบแสงจึงเห็นเป็นเพียงระนาบที่ตัดผ่านเกรนแต่ละเกรนเท่านั้น ขอบเกรนจะถูกกัดกร่อนได้เร็วกว่า เพราะการเรียงตัวของอะตอมบริเวณนี้จะหลวมกว่าภายในเกรน เมื่อผ่านการกัดจะเห็นบริเวณขอบเกรนเป็นสีดำเนื่องจากด้านเอียงของร่องที่ถูกกัดทำให้แสงที่ตกกระทบกระจายมีเพียงบางส่วนที่สะท้อนเข้าตาผู้ดู บริเวณภายในเกรนจะปรากฏความแตกต่างของเงาสี เพราะความเอียงของแถวอะตอมต่างๆภายในเกรน ดังนั้นผิวเกรนจะทำให้เกิดการสะท้อนแสงไปหาผู้ดู ปรากฏเป็นเงาสีที่แตกต่างกัน ความแตกต่างของเงาสีเป็นเพียงเงื่อนไขที่เกิดจากการตกกระทบและการสะท้อนของแสง

ตัวอย่างที่จะกัดด้วยสารเคมีต้องแห้งและสะอาด(ห้ามใช้นิ้วมือแตะถูกผิวหน้าชิ้นงาน) ควรใช้คีมคีบจุ่มลงในบีกเกอร์หรือภาชนะบรรจุสารเคมี โดยหงายชิ้นงานให้เห็นผิวหน้าด้านมันขึ้น การเลือกใช้สารเคมีขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและเฟสที่ต้องการศึกษาภายในเวลาที่เหมาะสม ดูการเปลี่ยนแปลงการกัดด้วยกล้องจุลทรรศน์ เมื่อผิวเปลี่ยนจากเงาเป็นมัวเล็กน้อย ปล่อยให้ใช้เวลา 2-3 วินาที จนถึงหลายนาที เวลาจะแปรตามอุณหภูมิของสารเคมีที่ใช้ และชนิดของตัวอย่างซึ่งผู้เตรียมจะสังเกตจากประสบการณ์ของตนเอง การกัดด้วยสารเคมีที่ดีจะต้องให้ภาพโครงสร้างที่ชัดเจน อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีการกัดไม่เหมาะสม เช่น ใช้เวลานานเกินไปสภาพโครงสร้างที่ตรวจสอบจะอยู่ในสถานะที่เรียกว่า กัดเบาเกินไป(Underetch) แต่ถ้าใช้เวลานานเกินไปโครงสร้างจุลภาคจะถูกสารเคมีกัดจนเสียหายไม่สามารถได้ภาพโครงสร้างที่ชัดเจน ซึ่งจะเรียกว่ากัดรุนแรงเกินไป(Veretch) การกัดด้วยสารเคมีควรทำ Underetch มากกว่า Veretch เพราะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้มากกว่าโดยนำไปกัดด้วยสารเคมีใหม่ เมื่อทำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกัดดีแล้วจัดล้างการกัดออกโดยใช้น้ำที่ไหลอยู่ตลอดเวลาหลังจากนั้นจึงนำมาฉีดล้างแอลกอฮอล์แล้วทำให้แห้งในกรณีวัสดุบางประเภท เช่น โลหะที่เกิดการออกซิเดชันได้ง่าย การล้างด้วยน้ำอาจจะไม่เหมาะสม ควรล้างด้วยแอลกอฮอล์หรือซิโตนจะให้ผลดีกว่า

ตารางที่ 2.2 สารละลายที่ใช้ทั่วไปในการกัดโครงสร้างโลหะ

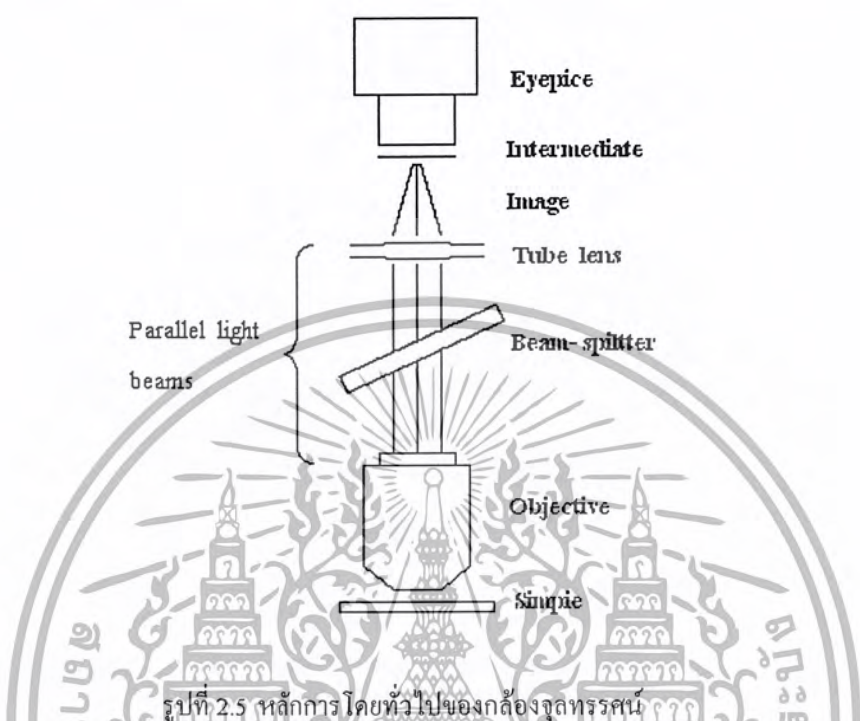
Etchant	Composition	Application
2% nital	Nitric acid	2 ml Cast iron; Magnesium and its
	Methly alcohol	98 ml alloys; Zinc and its alloys; Tin and its alloys
2% nital	Nitric acid	5 ml General structure of iron and steel
	Abs. Methyl alcohol	95 ml
Picral	Picral acid	4 gm General structure of iron and steel
	Abs. Ethly alcohol	96 ml
Alcoholic ferric chloride	Ferric chloride	5 gm Copper and its alloys, especially with
	Cone. Hydrolic acid	2 ml copper; Tin and alloys; Nickel and its
	Alclhol	95 ml alloys
Alkaline sodium picrate	Picric acid	2 gm To distinguish iron carbide and ferrite in
	Sodium hydroxide	25 gm steel by boiling 5 – 10 minutes; carbide is
	Water	100 ml darkened; ferrite unaffected
Alkaline etc hant	Sodium hydroxide	10 gm Aluminium alloys
	Water	90 ml
Ammoniacal hydrogen Peroxide	Hydrogen peroxide	5 ml For brass (must swab with cotton
	50% Ammonium hydrolic	20 ml continuously during etching)
Aqueous ferric chioride	Ferric chioride	10 gm Suitable for brass, bronze, German
	Hydrochloric acid	30 ml silver, copper, aluminium alloys, and
	Water	120 ml phosphorbronze

6. การส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์

การส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ สำหรับงานโลหะวิทยาจะมีความแตกต่างจากกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในทางชีววิทยาเนื่องจากโลหะเป็นวัตถุทึบแสง จึงต้องอาศัยหลักการตกกระทบของแสงของผิวหน้าที่เรียบของชิ้นงาน แหล่งกำเนิดแสงซึ่งอาจเป็นแสงจากธรรมชาติหรือแสงจากหลอดไฟส่องสว่างไปกระทบตัวอย่างแล้วเกิดการสะท้อนเข้าสู่เลนส์รวมแสงผ่านตัวกลางอากาศ โดยเลนส์วัตถุจากนั้นเข้าสู่เลนส์ตา จะทำหน้าที่ขยายภาพทำให้มองเห็น โครงสร้างของชิ้นงาน

กล้องจุลทรรศน์ลำแสงธรรมดามีกำลังขยายตั้งแต่ 50 ถึง 1,000 เท่า เลนส์วัตถุที่ใช้มี 2 แบบ คือแบบเปียกกับแบบแห้ง แบบแห้งใช้กำลังขยายต่ำ แบบเปียกใช้กำลังขยายสูง คำว่าเปียกหรือแห้ง หมายถึง สื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างเลนส์กับวัตถุตัวอย่าง แบบแห้งคือสื่ออากาศ แบบเปียกคือ คือน้ำมันซึ่งมีดัชนีการหักเหแสงสูง เมื่อใช้น้ำมัน เพื่อเพิ่มความคมชัดในการขยายภาพ ควรต้องระวังเรื่องการทำความสะอาดเลนส์ด้วย



รูปที่ 2.5 หลักการโดยทั่วไปของกล้องจุลทรรศน์

ข้อควรระวังในการเตรียมตัวอย่าง ในการเตรียมตัวอย่างควรให้ความสำคัญในการเตรียมตัวอย่าง ดังนี้

1. ล้างมือและชิ้นงานให้สะอาดทุกครั้งในระหว่างขั้นตอนต่างๆของการเตรียมชิ้นงาน
2. อย่าให้มีความชื้นในสารกักและแอลกอฮอล์ เพราะจะทำให้เกิดคราบบนชิ้นงาน
3. อย่าแตะตัวผิวหนังที่ผ่านการเตรียมแล้วเพราะจะทำให้เกิดรอยนิ้วมือจากคราบไขมันได้
4. เมื่อเตรียมตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว ต้องเก็บโคชิเกเตอร์ เพื่อไม่ให้ตัวอย่างถูกความชื้น
5. ควรทำเครื่องหมายเพื่อช่วยให้จดจำได้ว่าเป็นชิ้นงานอะไร
6. ความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการเตรียมจะทำให้โครงสร้างเปลี่ยนไปจึงต้องมีการหล่อเย็นอยู่ตลอดเวลา

2.2 การตัดเฉือนด้วยล้อยินเจียร์ไน

ในการทำวัสดุเกิดการขาดจากกัน โดยทั่วไปแล้วนั้นจะเกิดจากการตัดเฉือน(Shearing) มีอยู่น้อยมากที่จะใช้วิธีการดึงวัสดุ(Tensile) ให้ขาดจากกัน ซึ่งวิธีนี้จะเกิดการเสียหายกับชิ้นงานหรือวัสดุที่เราต้องการจะตัดมากกว่าใช้วิธีการตัดเฉือน ดังนั้นวิธีการตัดเฉือนจึงเป็นที่นิยมใช้อย่างมาก จากทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณการตัดเฉือน $\text{Shear Stress} = \frac{F}{A}$ จะเห็นว่าการเกิดแรงเฉือนเนื่องจากมีแรงมากระทำกับพื้นที่หน้าตัดของวัสดุนั้นๆใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวตั้งฉากกับเส้นที่หน้าตัดของวัสดุ ซึ่งแรงตัวนี้จะต้องเอาชนะความแข็งแรงของวัสดุนั้นจึงจะทำให้วัสดุเกิดการขาดจากกัน

2.2.1 ลักษณะและประเภทของการตัดเฉือน ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะ ดังนี้

- 1. ชิ้นงานอยู่กับที่ คมตัดเคลื่อนที่ เช่น งานเจาะตัด งานเลื่อยตัด งานตัดผิวหรือว่างานเจียรระไน เป็นต้น ซึ่งทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับการตัดที่ใช้ไม่เหมือนกันดังนี้

ทฤษฎีที่ใช้ในงานเจาะตัด $V = \frac{dn}{1000}$ เมตร/นาที

ทฤษฎีที่ใช้ในงานตัดผิว $V = \frac{dn}{1000 \times 60}$ เมตร/วินาที

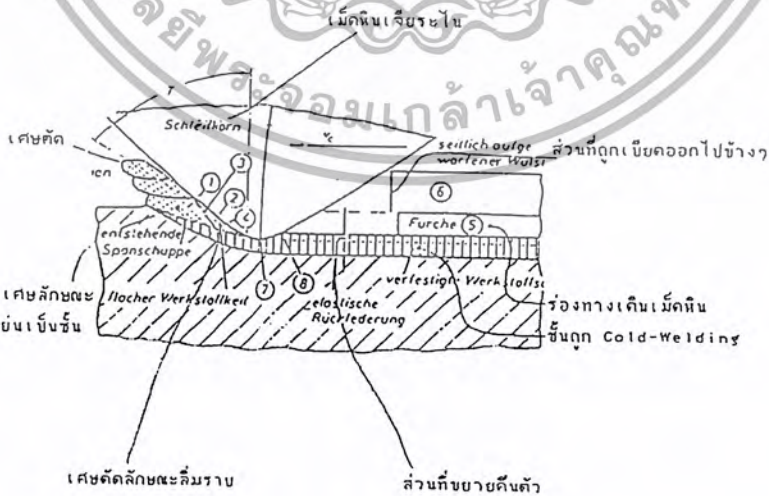
- 2. ชิ้นงานเคลื่อนที่ คมตัดอยู่กับที่ เช่น งานตัดผิวที่ต้องใช้ความละเอียดมากเป็นพิเศษ คือ งานจะวิ่งเข้าหากมตัดสามารถใส่ชิ้นงานได้ทีละหลายอันทำให้การติดตั้งครั้งหนึ่งได้งานหลายชิ้น

ทฤษฎีที่ใช้ในงานตัดผิว $V = \frac{dn}{1000 \times 60}$ เมตร/วินาที

- 3. ชิ้นงานเคลื่อนที่ คมตัดเคลื่อนที่ เช่น การกลึงตัด ทฤษฎีที่ใช้ในการกลึงตัดนั้นจะใช้ร่วมกันระหว่างความเร็วตัดกับความเร็วรอบ ซึ่งความเร็วตัดนั้นจะใช้ 1 รอบของการเคลื่อนที่ของคมตัดจากจุดหมุนหนึ่งไปครบรอบที่จุดเดิม ซึ่งความเร็วตัดเทียบได้กับความยาวของเศษโลหะที่ตัดออกได้ใน 1 นาทีและความเร็วรอบเป็นความเร็วในการเคลื่อนที่ของงานคิดเป็นระยะทางเมตรต่อวินาที เป็นต้น

2.2.2 งานตัดด้วยหินเจียรระไน

- 1. ล้อหินเจียรระไน(Grinding Wheel) ล้อหินเจียรระไนมีส่วนประกอบใหญ่ที่สำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ Bond และ Abrasive โดย Bond จะยึด Abrasive ให้ติดกันซึ่งล้อหินเจียรระไนที่มีรูปร่างลักษณะต่างๆตามมาตรฐาน
- 2. ลักษณะการตัดปาดของเม็ดหินเจียรระไน ส่วนใหญ่เม็ดหินเจียรระไนจะตัดกันดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การเกิดเศษของเม็ดหินเจียรระไนที่เกิดจากการตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 สารเชิงทรายและชนิดของสารเชิงทราย

สารเชิงทรายจะเป็นทำหน้าที่เป็นตัวตัดเศษ โลหะออกจากชิ้นงานสารเชิงทรายมีหลายชนิดแต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป คุณสมบัติของสารเชิงทรายมีดังต่อไปนี้

- มีความแข็งแรงมากกว่าวัสดุที่ทำการเจียรไน
- มีความแข็งแรงเพียงพอต่อแรงกดในการเจียรไน
- มีความทนทานต่อความร้อน ซึ่งเป็นสาเหตุของการที่ระหว่างการเจียรไน
- จะต้องมีความเปราะของ Abrasive Grain(เมื่อคมตัดเก่าเริ่มเกิดการที่เมื่อเกรนเก่าต้องแตกออกเพื่อให้เกิดเม็ดเกรนใหม่)

เม็ดสารเชิงทรายแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ชนิดที่ได้จากธรรมชาติและชนิดที่ได้จากการสังเคราะห์ ชนิดที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หินทราย หินควอทซ์ Emery และ Corundum สารเหล่านี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมมานานเกือบ 20 ศตวรรษ สารเชิงทรายธรรมชาติที่ดีที่สุดคือ เพชร แต่มีการใช้ในวงจำกัดเพราะมีราคาแพง งานที่ใช้เพชรเป็นสารเชิงทรายสำหรับการเจียรไน คือ งานเจียรไนซีเมนต์ คาร์ไบด์ แก้ว คัดคอนกรีต หินอ่อน หินปูน และหินอีกมี

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีการสังเคราะห์เพชรเทียมขึ้นมาใช้ ซึ่งมีราคาถูก ทำให้มีการใช้เพชรในการเจียรไน สารเชิงทรายสังเคราะห์ถูกนำมาใช้ในงานกันอย่างกว้างขวาง เพราะขนาดเกรน ความคม ความบริสุทธิ์ สามารถที่จะควบคุมให้มีขนาดใกล้เคียงกัน มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งหินเจียรไน สารเชิงทรายสังเคราะห์ที่นิยมใช้ คือ อลูมิเนียมออกไซด์ ซิลิกอนคาร์ไบด์ โบรอนคาร์ไบด์ คิวบิกโบรอนไนไตรด์ และเพชรอุตสาหกรรม

1. อลูมิเนียมออกไซด์(Al_2O_3)

เป็นสารเชิงทรายที่มีความสำคัญมากที่สุดเกือบ 75% ของล้อยหินเจียรไนที่ใช้อยู่ อลูมิเนียมออกไซด์เป็นสารเชิงซ้อนอลูมิเนียมออกไซด์ใช้เจียรไนวัสดุที่มีความแข็งแรงถึงสูงรวมทั้งโลหะที่เป็นเหล็ก ชกวัน เหล็กหล่ออลูมิเนียมออกไซด์ จะถูกผลิตขึ้นให้มีอนุภาคน้อยๆกันโดยขึ้นอยู่กับการใช้งาน ความแข็งและความเปราะจะมากขึ้นเมื่อความบริสุทธิ์มากขึ้น

2. ซิลิกอนคาร์ไบด์(Sic)

ซิลิกอนคาร์ไบด์ใช้สำหรับเจียรไนวัสดุที่มีความแข็งแรงถึงต่ำและวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ซีเมนต์ คาร์ไบด์ หินและเซรามิก และยังใช้ได้กับเหล็กหล่อและโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก เช่น เหล็กไร้สนิม ทองเหลือง บรอนซ์ ทองแดง อลูมิเนียม หินอ่อนและยางพลาสติก เป็นต้น ซิลิกอนคาร์ไบด์มีความแข็งและความเหนียวมากกว่า อลูมิเนียมออกไซด์ มีหลายสีจากเขียวถึงดำ

3. โบรอนคาร์ไบด์(Boc)

โบรอนคาร์ไบด์ เป็นเม็ดสารเชิงทรายชนิดหนึ่งที่มีความแข็งแรงมากกว่าซิลิกอนคาร์ไบด์และมีความแข็งแรงรองจากเพชร เป็นวัสดุอุตสาหกรรมที่มีความแข็งแรงมากที่สุด ใช้กับงานอุตสาหกรรมผลิตเงาที่มีความเที่ยงตรงขนาดสูง และ San Blast Nozzles โบรอนคาร์ไบด์ไม่เหมาะที่จะนำมาทำเป็นล้อยหินเจียรไน

4. คิวบิกโบรอนไนไตรด์

เป็นเม็ดสารเชิงทรายสังเคราะห์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นให้มีคุณสมบัติขึ้นความแข็งอยู่ระหว่างซิลิกอนคาร์ไบด์และเพชร ผลึกของสารเชิงทรายนี้เราเรียกว่า โบราซอน(CBN) ซึ่งได้พัฒนาขึ้น โดยบริษัทเจเนอรัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลททริกในปี 1969 วัสดุชนิดนี้มีความสามารถเจียรระไนเหล็กขอบสูงได้คล่องตัว และเที่ยงตรงและยังใช้ได้ดีกว่าเพชรในงานหลายๆอย่างนอกจากนั้นยังเหมาะกับงานเจียรระไนเหล็กกล้าไร้สนิมอีกด้วย

CBN ใช้ได้ในงานหล่อเย็นด้วยของเหลว และทนค่าสารเคมีเกลืออนินทรีย์ ล้อหินเจียรระไนชนิดนี้ต้องล้างหน้าหินบ่อย

5. นอร์ซอน(Norzon)

นอร์ซอน เป็นเม็ดทรายสังเคราะห์ชนิดพิเศษ ผลิตโดยบริษัทนอร์ตัน ทำด้วยส่วนผสมของอลูมิเนียมกับเซอร์โคเนียม ให้ความแข็งแกร่งและทนต่อแรงกระแทกใช้ในงานโรงหล่อในงานตกแต่งปุม มุมของเหล็กหล่อสีเทา เหล็กหล่อเหนียว เหล็กหล่อมัลลิเอเบิล โดยใช้กับเครื่องเจียรระไนแบบตั้งพื้นหรือแบบมือถือ

6. เพชร(Diamond)

เพชรในงานเจียรระไนเป็นเพชรที่ได้จากการสังเคราะห์ในห้องทดลอง โดยในปี 1957 บริษัทเจเนอรัลอิเล็กทริกได้ศึกษาและค้นคว้าเป็นเวลานานถึง 4 ปีจึงสามารถผลิตเพชรชนิดนี้ขึ้นมาได้

2.3.4 องค์ประกอบของล้อหินเจียรระไน

ล้อหินเจียรระไนมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 อย่าง คือเม็ดสารเชิงทราย และตัวประสาน นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์อื่นๆอีก เช่น เกรนและโครงสร้าง

ชนิดของเม็ดสารเชิงทรายที่นิยมใช้ผลิตล้อหินเจียรระไนมี 2 ชนิด คือ อลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนคาร์ไบด์ โดยสัญลักษณ์อักษร “A” ในล้อหินเจียรระไน คือ หินเจียรระไนที่ผลิตขึ้นจากเม็ดสารเชิงทรายอลูมิเนียมออกไซด์และสัญลักษณ์ “C” เป็นหินเจียรระไนที่ผลิตจากเม็ดสารเชิงทรายซิลิกอนคาร์ไบด์ ส่วนล้อหินเจียรระไนที่ใช้เพชรเป็นสารเชิงทรายเพชรจะแทนด้วยตัวอักษร “D” และล้อหินเจียรระไนที่ใช้โบรอนคาร์ไบด์เป็นสารเชิงทรายแทนด้วยตัวอักษร “D”

เม็ดสารเชิงทรายที่ใช้กับล้อหินเจียรระไนส่วนใหญ่ คือ อลูมิเนียมออกไซด์และซิลิกอนคาร์ไบด์ องค์ประกอบของเม็ดสารเชิงทรายขึ้นอยู่กับกรรมวิธีวัสดุงานเม็ดสารเชิงทรายแต่ละเกรดบนผิวหน้า ของล้อหินเจียรระไนจะเป็นคมตัดจำนวนมาก

คมตัดดังกล่าวจะเป็นตัวหมุนตัดเศษโลหะออกจากผิวงาน เมื่อเกรนเริ่มที่อ่อนเม็ดเกรนจะแตกตัวออกเป็นคมตัดใหม่ การแตกตัวของเม็ดเกรนจะเป็นตัวช่วยระบายความร้อนจากการขัดสีอันเป็นสาเหตุที่ทำให้หินที่ขัดด้วย ดังนั้นการทำงานจึงมีความสำคัญกับการหล่อเย็นด้วยผลที่มีเกรนจำนวนนับไม่ถ้วนบนผิวหน้าของล้อหินนี้เองจึงทำให้งานที่ผ่านการเจียรระไนมีผิวที่เรียบ

องค์ประกอบที่มีผลต่อขนาดเกรนมีดังนี้

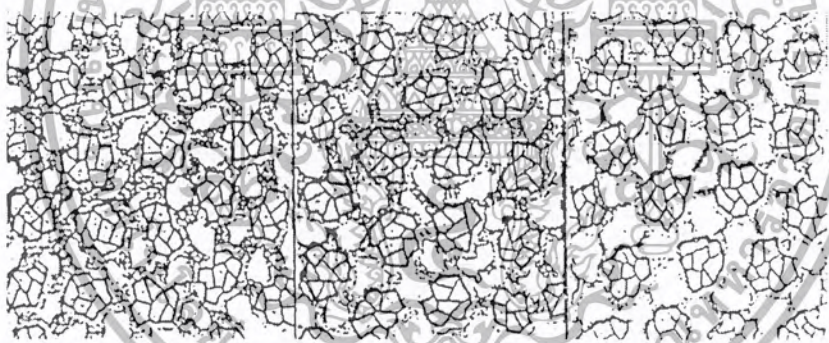
- ชนิดผิวงานที่ต้องการเกรนหยาบใช้ตัดผิวงานอย่างรวดเร็วเกรนละเอียดใช้สำหรับงานที่ต้องการความเรียบและเที่ยงตรงของขนาด
- ชนิดของวัสดุที่นำมาเจียรระไน โดยทั่วไปใช้เกรนหยาบกับวัสดุอ่อน ในขณะที่ใช้เกรนละเอียดกับวัสดุแข็ง
- จำนวนเนื้อวัสดุที่นำมาเจียรระไนออกถ้าต้องการเจียรระไนออกมากโดยไม่ต้องคำนึงถึงผิวงานควรใช้เกรนหยาบถ้าพื้นที่สัมผัสน้อยควรใช้เกรนละเอียด

ตารางที่ 2.3 ขนาดเม็ดเกรนที่ใช้กับล้อยหินเจียรระไน

ขนาดเม็ดเกรนที่ใช้กับล้อยหินเจียรระไน			
หยาบ	ปานกลาง	ละเอียด	ละเอียดมาก
10	30	70	200
12	36	80	200
14	46	90	240
16	54	100	280
20	60	120	320
24	-	150	400
-	-	180	500

ก. Grade

เกรดของล้อยหินเจียรระไน หมายถึง ความแข็งแรงในการยึดเกาะของตัวประสานกับเม็ดสารเชิงทราย เมื่อจำนวนตัวประสานมากขึ้นขนาดของ Bond Post จะติดกันมากขึ้นดังรูปที่ 2.9



ก. เกรดอ่อน ข. เกรดปานกลาง ค. เกรดแข็ง

รูปที่ 2.7 เกรดของล้อยหินเจียรระไน

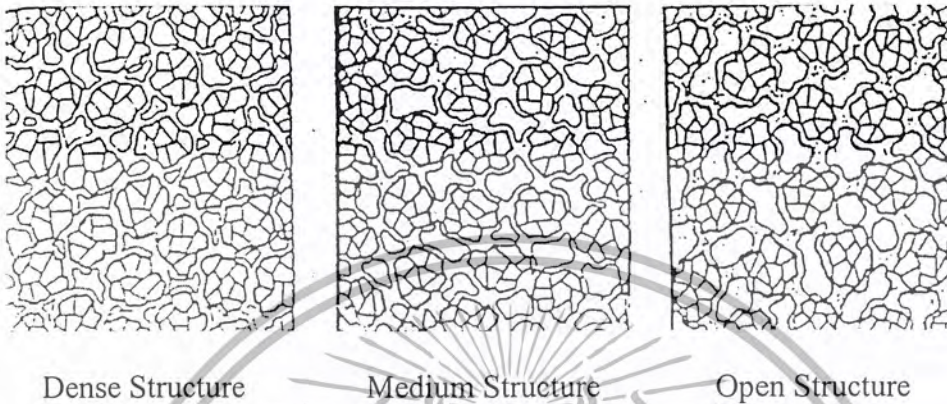
เม็ดสารเชิงทรายบนล้อยหินจะหลุดร่วงยาก ระหว่างการใช้งานจะเป็นเกรดแข็ง ถ้าจำนวนตัวประสานน้อย เกรนจะหลุดร่วงได้เร็วจะเป็นเกรดอ่อน

การเลือกเกรดหินเจียรระไนเป็นเรื่องสำคัญ ล้อยหินเจียรระไนที่มีความแข็งแรงมากเกรนจะไม่หลุดร่วงมาก ผลที่ตามมาคือ เกรนเกิดการทื่อและให้ประสิทธิภาพการตัดไม่ดี แต่อายุการใช้งานจะนานกว่า ล้อยหินเจียรระไนที่เกรดอ่อนเกรนจะหลุดร่วงอย่างรวดเร็ว อายุการใช้งานจะสั้นและเป็นการสิ้นเปลือง เกรดของล้อยหินเจียรระไนกำหนดโดยอักษรจาก A ถึง Z โดยที่อักษร A-I แทนเกรดอ่อน อักษร J-P แทนเกรดปานกลาง และอักษร Q-Z แทนเกรดแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. Structure

โครงสร้างของลื้อหินเจียรไน หมายถึง ช่องว่างหรือความโปร่งพรุนระหว่างเกรนกับวัสดุประสาน เจียรไนในโครงสร้างโปร่ง(Open Structure) จะมีช่องว่างระหว่างเกรนกว้าง หินเจียรไนที่มีช่องว่างระหว่างเกรนน้อยที่สุด คือ หินเจียรไนโครงสร้างทึบ(Dense Structure) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของลื้อหินเจียรไน

การเลือกโครงสร้างของลื้อหินเจียรไนจะกำหนดโดยตัวเลข 1 ถึง 15 โดยที่ตัวเลขที่มีค่ามากจะยังมีโครงสร้างที่โปร่งมากกว่า

องค์ประกอบบนการเลือกโครงสร้างของลื้อหินเจียรไน มีดังนี้

- ชนิดวัสดุที่นำมาเจียรไน วัสดุอ่อนต้องการมีการเคลือบโลหะที่คั่นต้องการหินเจียรไนที่มีโครงสร้างโปร่ง
- พื้นที่ผิวสัมผัสในงานที่มีผิวสัมผัสกว้าง ควรใช้หินเจียรไนที่มีความโปร่ง เพราะจะเคลือบโลหะได้ดีกว่า
- ความเรียบของผิวหินเจียรไนที่มีโครงสร้างทึบจะให้ความเรียบของผิวงานและความเที่ยงตรงทางขนาดของชิ้น งานได้ดีกว่า
- วิธีการหล่อเย็นหินเจียรไน โครงสร้างโปร่งจะให้การชะล้างของน้ำหล่อเย็น ในขณะที่ปฏิบัติงานได้ดีกว่า

วัสดุประสานในลื้อหินเจียรไนมีหน้าที่ดังนี้ คือ

- ยึดเหนี่ยวเม็ดสารเชิงทรายให้อยู่ในตำแหน่ง และรูปทรงของก้อนหินเจียรไน
- ปลดปล่อยเม็ดหินเจียรไนหลุดไปเอง เมื่อเม็ดหินเจียรไนแตกแล้วแตกอีกหรือเม็ดหินเจียรไนสึกหรองจนไม่คมแล้ว
- การยึดเหนี่ยวเพื่อให้เกิดช่องว่างในการเคลือบซึ่งจะเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการปาดผิวดีขึ้น

วัสดุที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมแบ่งออกเป็น 7 ชนิด คือ Vitified, Silicate, Resinoid, Rubber, Shellac, Manesite และ Mefal ดังนี้

1. Vitified Bond เป็นสารที่ใช้มากที่สุดมีคุณลักษณะคล้ายๆกับ Percelain แข็งและเปราะ ใช้ผสมกับเม็ดหินเจียรไนแล้วกดขึ้นรูปปล่อยทิ้งไว้ให้แห้งและเผาที่อุณหภูมิ 900 °C ถึง 1400 °C ขึ้นอยู่กับส่วนผสม เมื่อเผาแล้วจะเกิดความพรุนขึ้นและไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ
2. Silicate Bond ทำให้อลูมินเจียรไนอยู่ในระดับความแข็งต่ำ ใช้ Na_2 และ SiO_3 ผสมกับเม็ดหินเจียรไนและสารบางอย่างอัดขึ้นรูป และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 300 °C ก้อนหินเจียรไนถูกน้ำจะไม่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะไรและด้วยเหตุที่มีความพรุนมาก การเจียรไนจึงไม่เกิดความร้อนมากและมักจะใช้กับงานเจียรไนชิ้นงานบาง ด้วยเหตุที่มีความแข็งแรงต่ำจึงใช้กับความเร็วตัดสูงสุดเพียง 25 เมตรต่อวินาที

3. Resinoid Bond เป็นประเภทคล้ายกับ Bakefite อบให้แห้งที่อุณหภูมิใหม่ไฟประมาณ 170°C ถึง 200°C ทำให้หินเจียรไนไม่ลื่น ด้วยความแข็งแรงและความเหนียวแน่นของ Resinoid ใช้กับความเร็วตัดได้ 80 เมตรต่อวินาที และถ้าเสริมด้วยเส้นใย จะสามารถใช้กับความเร็วตัดได้ถึง 100 - 125 เมตรต่อวินาที ที่พบกันเสมอ เช่น แผ่นตัดหินเจียรไน (Abrasive Cutting Wheel) แผ่นขัดหินเจียรไนซึ่งใช้กับงานตกแต่งชิ้นงานสำหรับเม็ดหินเจียรไนที่เป็นเพชรใช้ Pnenolresins และ Polyamides กดขึ้นรูปและอบที่อุณหภูมิ 800°C
4. Rubber Bond มีความเหนียวและความยืดหยุ่นได้ดี โครงสร้างของล้อหินเจียรไนชนิดนี้จะปิดหมด ใช้ในงานเฉพาะอย่าง เช่น ชิ้นงานที่เคบมาก หรือมีชิ้นส่วนรูปพรรณที่บอบบาง เช่น แก้ว หรือใช้กับงานเจียรไนไร้ศูนย์ โดยเฉพาะเป็นล้อหินเจียรไนด้านจับส่ง ใช้ความเร็วตัดได้ถึง 60 เมตรต่อวินาที
5. Shellaca Bond มีความยืดหยุ่นได้เช่นกัน ใช้กับเม็ดหินเจียรไนที่ละเอียดเป็นพิเศษอัดเป็นก้อนหรือล้อหินเจียรไนไว้สำหรับขัดผิวมัน เช่น ใช้ขัดผิวลูกกริด ทำอลูมิเนียมพอยล์ หรือ พลาสติกพอยล์ เพราะผิวของลูกกริดมีความละเอียดสูง คือ $0.2-0.3\text{ }\mu\text{m}$ สามารถใช้กับความเร็วตัดได้ 60 m/s
6. Magnesite Bond เป็นวัสดุประสานทำให้ก้อนหินเจียรไนมีโครงสร้างที่เปราะมาก ส่วนใหญ่ใช้ได้กับการเจียรไนผิวมัน และเมื่อผสมกับเม็ดหินเจียรไนก็เทลงในแบบและปล่อยให้แห้ง ไม่มีกรอบทนแรงกระแทกได้ต่ำ ถูกน้ำไม่ได้ ใช้ได้กับความเร็วตัดสูงสุด 25 เมตรต่อวินาที ต้องเก็บรักษาไว้ในที่แห้งก่อนนำไปใช้ประมาณ 2 - 3 อาทิตย์ ถ้าเก็บไว้นานเกิน 1 ปีก็จะเสื่อมคุณภาพส่วนใหญ่นำมาใช้กับอุตสาหกรรมทำมิดและหินขัด
7. Metal Bond เป็นวัสดุประสานที่ใช้กับหินเจียรไน ที่มีเพชรเป็นสารเชิงทรายวัสดุประสานจะเป็นบรอนซ์ที่มีทองแดงอยู่ประมาณ 60 - 80% ถ้าลักษณะเป็นก้อน เซกเมนต์จะผสมโลหะลงไปด้วย กดขึ้นรูปและขึ้นเครื่องเสร็จแล้วก็คัดกรัดกับงานล้อหินเจียรไน ในกรณีที่มีชิ้นหินเจียรไนชิ้นเดียวจะใช้ Ni, Ti, หรือ Co เป็นวัสดุประสาน ผิวของงานล้อหินเจียรไนจะชุบด้วยทองแดงก่อน หินเจียรไนที่ใช้วัสดุประสานชนิดนี้จะใช้ในงานแบบ Electrotytic Grinding ซึ่งกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไปตามลวดล้อหินเจียรไนขณะทำการเจียรไน

2.3 สาเหตุของงานเจียรไน

ในการเจียรไนนี้อาจเกิดความร้อนและแรงเสียดทานขึ้นระหว่างชิ้นงานกับหินเจียรไน ซึ่งความร้อนและแรงเสียดทานนี้จะส่งผลให้เกิดการสูญเสียแรงตัดเนื่องชิ้นงานไป

จากเหตุดังกล่าว จะทำให้ขนาดที่ทำการใช้งานของหินเจียรไนสั้น ดังนั้นในงานเจียรไนจึงต้องมีการหล่อเย็นเพื่อลดผลดังกล่าวให้น้อยลง หรือจะจัดปัญหาดังกล่าวออกไป

คุณสมบัติของสารหล่อเย็น มี 3 ประการ ดังนี้

1. ระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการเจียรไน ความร้อนจะเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างผิวชิ้นงานกับผิวเจียรไนซึ่งสาเหตุดังกล่าวจะทำให้ชิ้นงานที่เจียรไนออกมามีความเที่ยงตรง ความเร็วของล้อหินลดลงและเกิดข้อจำกัดในการเจียรไน (ทำงานต่อเนื่องนานไม่ได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในการหล่อลื่น สารหล่อลื่นจะให้การหล่อลื่นแก่บริเวณที่เกิดการสัมผัสระหว่างหน้าล้อหินเจียรไน กับผิวหน้าชิ้นงานซึ่งการให้การหล่อลื่น จะเป็นการลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นด้วย นอกจากนั้นการหล่อลื่นจะทำให้ผิวเจียรไนมีความละเอียดตามต้องการ และยังป้องกันการกระแทกกันระหว่าง Abrasive Grain กับผิวหน้าชิ้นงานทำให้ลดปริมาณของชิ้นหินเจียรไนลงอายุการใช้งานจะยาวนานขึ้นด้วย
3. ทำความสะอาดผิวหน้าชิ้นงาน สารหล่อลื่นจะนำพาเศษผงที่เกิดจากการเจียรไนออกจากบริเวณผิวหน้า ซึ่งผลดังกล่าวจะเป็นการป้องกันผิวหน้าชิ้นงานจากการขูดขีด โดยเศษผงจากการเจียรไนทำให้ผิวการเจียรไนมีความละเอียดตามต้องการ

2.4 ชนิดของสารหล่อลื่น

สารหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติพิเศษ ดังนั้น จึงมีการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของสารหล่อลื่นงานเจียรไนอย่างกว้างขวาง ลำพังน้ำอย่างเดียวมีคุณสมบัติไม่เพียงพอที่จะใช้เป็นสารหล่อลื่นงานเจียรไน เพราะน้ำจะทำปฏิกิริยากับโลหะอย่างเช่น เหล็ก ทำให้เกิดสนิม น้ำยังขาดคุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดี และไม่มีคุณสมบัติในการทำ ความสะอาดอย่างเพียงพอ นอกจากนั้นแบคทีเรียยังสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยซึ่งจะเป็นผลทำให้มีกลิ่นขึ้นได้ และยังอาจเป็นอันตรายต่อผิวหนังของผู้ปฏิบัติงานได้ด้วยโดยทั่วไปแล้วงานเจียรไนแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ งานเจียรไนแห้ง และงานเจียรไนเปียก ชนิดของสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวที่ใช้ในงานเจียรไนเปียก ได้แก่ Water-Soluble Chemical Fluides, Water-Soluble Oil Fluids และ Straight Oil Fluids ดังนี้

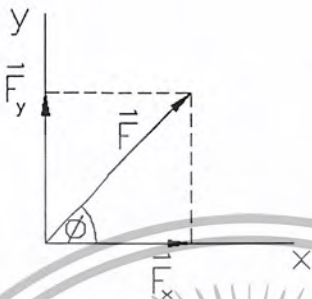
1. Water-Soluble Chemical Fluides เป็นสารหล่อลื่นมีองค์ประกอบของน้ำและสารเคมีบางอย่างที่ได้ลดและขจัดข้อเสียของน้ำโดย Water-Soluble Chemical Fluides จะสามารถป้องกันการเกิดสนิม คุณสมบัติในการทำ ความสะอาดดีขึ้นและมีคุณสมบัติในการหล่อลื่นที่ดีขึ้นนอกจากนั้นยังสามารถป้องกันการเกิดแบคทีเรียด้วย ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของสารหล่อลื่นชนิดนี้ยาวนานยิ่งขึ้น
2. Water-Soluble Oil Fluids ลักษณะของน้ำมันหล่อลื่นมีคุณสมบัติค่อนข้างใสหรือขุ่น จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ น้ำมันที่ผสมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นมีทั้งแบบธรรมชาติและแบบสังเคราะห์ แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำมันที่ได้จากธรรมชาติเพราะมีราคาถูกกว่าน้ำมันสังเคราะห์ สารป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจะถูกเติมลงในน้ำมันหล่อลื่นด้วย
3. Straight Oil Fluids สารหล่อลื่นชนิดนี้ใช้ในงานที่มีความเที่ยงตรงสูง และผิวชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดเป็นพิเศษ นอกจากนั้นยังช่วยยืดอายุหินเจียรไนให้สูงขึ้นไปอีก ข้อดีของสารหล่อลื่นชนิดนี้ก็คือใช้กับงานเจียรไนที่มีความแข็งแรงมากได้ดี Straight Oil Fluids มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ไม่เท่ากับ Water-Soluble Oil Fluids แต่จะลดแรงเสียดทานได้ดี ดังนั้นความร้อนที่เกิดจากการเจียรไนจึงไม่สูงมากนัก

ในงานเจียรไนบางอย่างจะใช้ไขเป็นสารสำหรับการเจียรไน โดยไขดังกล่าวจะเป็นไขแบบ Microcrystalline Wax หรือ Natural Wax โดยจะนำไปทาเคลือบผิวหน้าของล้อหินเจียรไน เมื่อหินเจียรไนเกิดความร้อนไขก็จะเกิดการหลอมละลายและทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น การใช้ไขในการเจียรไนนี้จะทำให้ผิวของชิ้นงานที่ผ่านการเจียรไน มีความละเอียดยิ่งขึ้นบางทีอาจใช้น้ำมันหยดลงบนล้อหินเจียรไนพอเปียกๆแทนไขก็ได้ ซึ่งจัดเป็นเทคนิคการเจียรไนแห่งอีกวิธีหนึ่ง

2.5 ทฤษฎีการคำนวณ

2.5.1 การแตกแรงเป็นแรงย่อยลงบนแกนที่ตั้งฉากกัน

การแตกแรงบนระนาบสามารถแยกพิจารณาออกเป็นแรงย่อย 2 แรงซึ่งอยู่บนระนาบเดียวกัน ได้เป็นกรณีดังนี้



รูปที่ 2.9 การแตกแรงลงบนแรงที่ตั้งฉากกัน

ในรูปที่ 2.9 ให้ $\vec{F}$ เป็นแรงใดแรงหนึ่ง ซึ่งทำมุมกับแกน x เท่ากับ θ และแตกออกเป็นแรงย่อยขนาด F_x และ F_y ลงบนแกน x และ y ตามลำดับ กำหนด $\vec{i}$ และ $\vec{j}$ เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยบนแกน x และ y ตามลำดับ ดังนั้น

$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y = F_x \vec{i} + F_y \vec{j}$$
$$\vec{F} = (F \cos \theta) \vec{i} + (F \sin \theta) \vec{j}$$

โดยที่ $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{F_y}{F_x} \right)$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \tag{2.1}$$

2.5.2 การออกแบบเพลลา

เพลลาอาจจะรับแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนั้นเพลลาจะต้องมีความแข็งแรง เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะ โกง ของเพลาก็เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดของเพลลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลามีระยะ โกง มากก็จะเป็นการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤตของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลามีการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะ โกง นี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลลา เช่น บอลเบริง ก็ต้องมีการเอียงแนว ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลาด้วย

2.5.3 วัสดุเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลลาเช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้น เพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 mm. มักจะกลิ้งมาจากเหล็กคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลามีราคาถูกลงที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

2.5.4 ขนาดของเพล

เพื่อให้เพลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลซึ่งเป็นขนาดระบุ(nominal size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อให้สามารถซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของแบริ่ง ที่ใช้รองรับเพลาด้วยขนาดระบุของเพลาดูได้จากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ขนาดระบุของเพลามาตรฐาน ISO/R775-1969

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mm.				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	

2.5.5 การพิจารณาในการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของเพลที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะของการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดของเพลเพื่อให้เพลทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเดียวยังไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลาลูกเบี้ยว ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งที่เที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลที่เกิดขึ้นที่ขณะใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลที่จะมีความแข็งแรงอยู่ในพิสัยที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากเกินไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบริ่งที่รองรับเพลายู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิสัยมุมบิดของเพลไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลไปในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3° ต่อความยาวเพล 1 เมตรสำหรับเพลาส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มีมุมบิดให้ถึง 1° ต่อความยาวเพล 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพล

ความแข็งแรงที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแรงทางด้านระยะโก่ง เพราะจะต้องใช้ระยะโก่งของเพลที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด ระหว่าง ล้อ สายพาน เฟือง โครงเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบริ่งสำหรับรองรับเพลให้เหมาะสมถ้าเพลามีระยะโก่งมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือชนกันลดลงเป็นผลทำให้อัตราส่วนการขบของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกแปรงรับเพลาก็เช่นกัน จำเป็นจะต้องเลือกแปรงชนิดที่อนุญาตให้มีการเอียงแนว สำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกะบระยะโก่งของเพลาก็จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแปรงธรรมดาหรือเป็นแปรงชนิดที่ปรับแนวได้เอง ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับระยะโก่งเป็นสำคัญ

ระยะโก่งดังกล่าวนี้ก็ไม่มีความรู้กำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบอาจจะยึดถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงทางด้านระยะโก่งได้ดังนี้คือ

สำหรับเพลารองจักรกลทั่วไป ค่าระยะโก่งระหว่างจุดที่รองรับด้วยแปรงไม่ควรเกิน 0.08 มิลลิเมตรต่อเมตร

สำหรับเพลามีเฟืองตรงคุณภาพคืออยู่ด้วยระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.125 มิลลิเมตร และความลาดเอียงของเพลาน ตำแหน่งนี้ควรจะน้อยกว่า 0.0286 °

สำหรับเพลามีเฟืองคอกงอก คุณภาพคือคิดอยู่ ระยะโก่ง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.075 มิลลิเมตร

2.5.6 การออกแบบเพลามาตามได้ของ AMSE

วิธีการดังกล่าวนี้ใช้กับทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลาน ซึ่งเป็นการออกแบบโดยสถิติศาสตร์ ในการหาสมการสำหรับออกแบบเพลานให้พิจารณา ดังรูปที่ 2.10 ให้เป็นเพลากลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_i และ d ตามลำดับ ความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นบนเพลานมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.10 เพลานอยู่ภายใต้แรงต่างๆ

ความเค้นดึงหรือกด

$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \tag{2.2}$$

ความเค้นดัด

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \tag{2.3}$$

ความเค้นเฉือน

$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \tag{2.4}$$

ในกรณีที่เป็นแรงกด อาจมีผลต่อการโก่งได้ ดังนั้นสมการที่ 2.2 จะกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \tag{2.5}$$

เพลานส่วนมากอาจจะอยู่ใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลานหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้ ดังนั้นเพลานจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ AMSE ใช้วิธีการแบบสถิติศาสตร์ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้ามาเกี่ยวข้องด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้ C_m = คำนวณประกอบความต้านเนื่องจากการคด
 C_t = คำนวณประกอบความต้านเนื่องจากการบิด

ดังนั้นสมการที่ 2.3 และสมการที่ 2.4 จะกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m M d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.6)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16C_t T d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.7)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวมคือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \quad (2.8)$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau = \left[\tau_{xy} + \left(\frac{\sigma}{2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

แทนค่าสมการที่ 2.5, 2.6, 2.7 และสมการที่ 2.8 ลงในสมการข้างบนนี้แล้วจัดรูปใหม่ จะได้ว่า

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau (l - k^4)} \left[(C_t T)^2 + \left[\frac{\alpha F d (l + k^2)}{8} + C_m M \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.9)$$

โดยที่ $k = d_i / d$

ในกรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย สมการที่ 2.9 จะลดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau (l - k^4)} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (2.10)$$

หรือในกรณีของเพลาดัน $k = d_i / d = 0$ เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ 2.10 ก็จะได้สมการ ดังนี้

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 ค่าตัวประกอบความล้าตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายู่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5 – 2.0	1.5 – 2.0
เพลามวน :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5 – 2.0	1.0– 1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0 – 3.0	1.5 – 3.0

สำหรับตัวประกอบของการโค้งงอ ASME แนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$\alpha = 1$ เมื่อ F เป็นแรงค้ำ (2.12)

$\alpha = \frac{l}{l - 0.0044(l/k)}$ เมื่อ $\frac{l}{k} \leq 115$ (2.13)

$\alpha = \frac{\sigma_y [L/k]^2}{\pi^2 n E}$ เมื่อ $\frac{l}{k} > 115$ (2.14)

โดยที่ $n = 1.00$ เมื่อปลายเป็นแบบ ss
 $n = 2.25$ เมื่อปลายเป็นแบบ cc
 $n = 1.60$ เมื่อปลายเพลายึดขึ้นเป็นบางส่วน
 L = ความยาวจริงของเพล

จะเห็นได้ว่าสมการที่ 2.13 เป็นสมการของสูตรเส้นตรง และสมการที่ 2.14 เป็นสมการของออยเลอร์ ซึ่งแก้ไขค่าคงที่ใหม่

นอกจากนี้โค้ดของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่า เพลาซึ่งมีโซ่อยู่ในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$\tau_d = 55 \text{ N/mm}^2$ สำหรับเพลที่ไม่มีร่องลิ่ม
 $\tau_d = 41 \text{ N/mm}^2$ สำหรับเพลที่มีร่องลิ่ม

แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะ ให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งานจากสมการที่ 2.15 โดยเลือกใช้ค่าที่น้อยมาคำนวณคือ

$\tau_d = 0.3\sigma_y$ หรือ $\tau_d = 0.18\sigma_u$ (2.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.7 ความแข็งแกร่งทางด้านการบิด

สำหรับเพลามีขนาดสม่ำเสมอ มุมบิดเป็น rad จะหาค่าได้จากสมการ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (2.16)$$

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

$$\theta = \frac{584TL}{Gd^4} \quad (2.17)$$

$$\text{ถ้าเป็นเพลากลมกลวง } \theta = \frac{584TL}{(1-k^4)Gd^4} \quad (2.18)$$

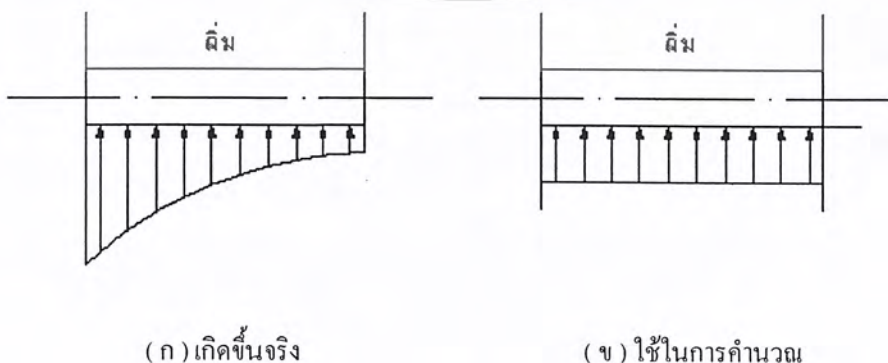
ฉะนั้นถ้าต้องการให้เพลามีความแข็งแกร่งตามลักษณะการใช้งานแล้ว ก็ควรที่จะใช้สมการที่ 2.18 นี้ตรวจสอบมุมบิดให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

2.5.8 ความเค้นที่รอยต่อด้วยลิ้ม

เมื่อใช้ลิ้มต่อเพลากับคูลเพื่อส่งโมเมนต์บิด ความเค้นที่เกิดขึ้นในลิ้มจะเป็นแบบสามมิติ และมีความยุ่งยากในการคิดคำนวณมาก ความเค้นที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากแรง 2 ชนิด คือ

1. แรงเนื่องจากการสวมลิ้มอัดลงในร่องลิ้ม เช่น การสวมลิ้มอัดแบบธรรมดาหรือแบบเรียว แรงเหล่านี้ทำให้เกิดความเค้นอัดขึ้นซึ่งไม่อาจหาค่าแน่นอนของค่าเหล่านี้ได้
2. แรงเนื่องจากการส่งโมเมนต์บิด ทำให้เกิดความเค้นอัดและความเค้นเฉือนในลิ้ม

แรงที่กระทำตามแนวขวางของลิ้มจะไม่กระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวลิ้ม แต่จะมีค่ามากในบริเวณที่ใกล้กับ โมเมนต์บิด ทั้งนี้เนื่องมาจากการบิดระหว่างเพลากับคูล เพราะเพลามีความแข็งตึงบิด น้อยกว่าคูล ผู้ทำการทดลองหาลักษณะการกระจายความเค้นตลอดความยาวลิ้มจะพบว่ามีความเค้นการกระจายดังรูป 2.11 (ก)



รูปที่ 2.11 ความเค้นบนลิ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาความเค้นที่เกิดขึ้นในลิ่มนั้น เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงมักจะใช้ข้อสมมุติฐานดังนี้

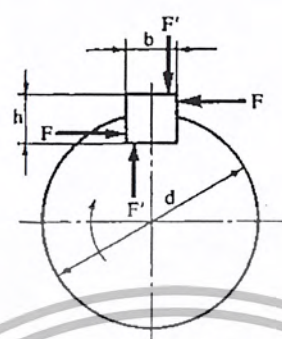
- แรงที่กระจายตลอดความยาวของลิ่มมีค่าสม่ำเสมอ
- ไม่คิดแรงที่เกิดจากการสวมอัดลิ่ม

ตารางที่ 2.6 ขนาดลิ่มมาตรฐานที่ใช้กับเพลานขนาดต่างๆ

ขนาดเพลาน (d)	ลิ่มสี่เหลี่ยมผืนผ้า ลิ่มสี่เหลี่ยมจัตุรัส	ลิ่มแบน	แซดเคิลคีย์	ลิ่มวงเดือน		
	ISO / R 773 ISO / R 774	ISO 1491 ISO 2492	DIN 6881	ISO 3912		
	b x h	b x h	b x h	b x h ₁ x R	t ₁	t ₂
3 – 4				1.0 x 1.04 x 4	1.0	0.6
4 – 5				1.5 x 2.60 x 7	2.0	0.8
5 – 6				2.0 x 2.60 x 7	1.8	1.0
6 – 7	2 x 2			2.0 x 3.70 x 10	2.9	1.0
7 – 8	2 x 2			2.5 x 3.70 x 10	2.7	1.2
8 – 10	3 x 3			3.0 x 5.0 x 13	3.8	1.4
10 – 12	4 x 4			3.0 x 6.5 x 16	5.3	1.4
12 – 14	5 x 5	5 x 3		4.0 x 6.5 x 16	5.5	1.8
14 – 16	5 x 5	5 x 3		4.0 x 7.5 x 19	6.0	1.8
16 – 18	5 x 5	6 x 4		5.0 x 6.5 x 16	4.0	2.3
18 – 20	6 x 6	6 x 4		5.0 x 7.5 x 19	5.5	2.3
20 – 22	6 x 6	6 x 4		5.0 x 9.0 x 22	7.0	2.3
20 – 25	8 x 7	8 x 5	8 x 3.5	6.0 x 9.0 x 22	6.5	2.8
25 – 28	8 x 7	8 x 5	8 x 3.5	6.0 x 10 x 25	7.5	2.8
28 – 32	8 x 7	8 x 5	8 x 3.5	8.0 x 11.0 x 28	8.0	3.3
32 – 38	10 x 8	10 x 6	10 x 4.0	10.0 x 13.0 x 32	10.0	3.3
38 – 44	12 x 8	12 x 6	12 x 4.0			
44 – 50	14 x 9	14 x 6	14 x 4.5			
50 – 58	16 x 10	16 x 7	16 x 5.0			
58 – 65	18 x 11	18 x 7	18 x 5.0			
65 – 75	20 x 12	20 x 8	20 x 6.0			
75 – 85	22 x 14	22 x 9	22 x 7.0			
85 – 95	25 x 14	25 x 9	25 x 7.0			
95 – 110	28 x 16	28 x 10	28 x 7.5			
110 – 130	32 x 18	32 x 11	32 x 8.5			
130 – 150	36 x 20	36 x 12	36 x 9.0			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณารอยต่อด้วยลิ่มดังรูปที่ 2.12 ให้ F เป็นแรงที่กระทำกับลิ่มเนื่องจากโมเมนต์บิด และ F' เป็นแรงที่กดลิ่มไว้ไม่ให้ลิ่มเอียง โมเมนต์บิดบนเพลลาทำให้คูล้อมมีแรงต้านแรง F เกิดขึ้นซึ่งกระทำในแนวตั้งฉากกับลิ่ม สมมุติว่าแรงนี้กระทำที่จุดกึ่งกลางของลิ่มส่วนที่โผล่พ้นจากเพลลา ดังนั้นจึงหาแรง F ได้จากสมการ



รูปที่ 2.12 แรงบนรอยต่อด้วยลิ่ม

$$T = F \left(\frac{d}{2} + \frac{h}{4} \right) = \frac{Fd}{2} \tag{2.19}$$

จากข้อสมมุติฐานที่ได้กล่าวมาแล้ว เมื่อคิดว่าลิ่มขาดเนื่องจากแรงเฉือน ฉะนั้น

$$T = \frac{Fd}{2} = \frac{bl\tau d}{2} \tag{2.20}$$

- โดยที่ T คือโมเมนต์บิดบนเพลลา
- F คือแรงที่กระทำกับลิ่ม
- d คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา
- b คือความกว้างของลิ่ม
- l คือความยาวของลิ่ม
- τ คือความเค้นเฉือนบนลิ่ม

แต่เมื่อคิดว่าลิ่มโค่นหักแตก

$$T = \frac{Fd}{2} = \frac{hl\sigma_c d}{4} \tag{2.21}$$

- โดยที่ h คือความสูงของลิ่ม
- σ_c คือความเค้นอัดบนลิ่มหรือเพลลาหรือคูล้อม

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ค่าความเค้นเฉือนที่วัสดุรับได้จะมีค่าประมาณ 1/2 ของความเค้นอัดที่วัสดุรับได้ นั่นคือ $\tau = 0.5 \sigma_c$ เมื่อแทนค่าลงในสมการจะได้ว่า $b = h$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นลิ่มที่
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีที่สุด เพราะสามารถรับแรงเฉือนและแรงอัดได้เท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาด้านความแข็งแรงของเพลาล้วนแล้วจะเห็นว่าไม่เหมาะสม เนื่องจากท้องลิ่มของลิ่มสี่เหลี่ยมจตุรัสจะต้องเจาะลงไปบนเพลาลึกมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงไม่นิยมใช้ลิ่มชนิดนี้เท่าใดนัก ยกเว้นกรณีที่ใช้กับเพลานขนาดเล็กเท่านั้น

ในกรณีที่ลิ่มเพลและคุดลอ ทำจากวัสดุต่างชนิดกัน ให้ทำการคำนวณในสมการที่ 2.21 โดยใช้ค่าความเค้นอัดของวัสดุที่มีค่าความต้านทานแรงอัดน้อยที่สุด

ถ้าลิ่มและเพลทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน ก็สามารถจะหาความยาวของลิ่มได้โดยถือว่าลิ่มและเพลรับโมเมนต์บิดเท่ากัน

ดังนั้น

$$T = \frac{bl\tau d}{2} = \frac{\tau d^3}{16}$$

เพราะฉะนั้น

$$l = \frac{\pi d^2}{8b}$$

(2.22)

ถ้าสมมติให้ลิ่มมีความกว้างประมาณ d/4 จะได้

$$l = \frac{\pi d}{2} = 1.57d$$

(2.23)

นั่นก็คือ ความยาวของลิ่มควรมีค่าประมาณ 1.57 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพล โดยทั่วไปแล้วกรรมวิธีการออกแบบจะเริ่มค้นด้วยการหาขนาดของเพลที่ใช้จากนั้นจึงเลือกขนาดลิ่มมาตรฐานที่ใช้กับเพลที่ต้องการจากตาราง แล้วจึงคำนวณหาความยาวลิ่มโดยใช้สมการที่ 2.20 และ 2.21 และเลือกใช้ความยาวค่ามาก จากนั้นจึงใช้ความยาวของคุดลอให้เท่ากับความยาวของลิ่ม แม้ว่าจะยาวเกินความต้องการไปบ้างก็ตาม ขนาดของคุดลอโดยประมาณซึ่งใช้กันอยู่ในชิ้นงานทั่วไป

บทที่ 3

การออกแบบและการดำเนินงาน

3.1 การคำนวณ

3.1.1 หาแรงที่มากกระทำบนใบเลื่อย

โดยพิจารณาแรงที่มากกระทำ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณแรงที่มากกระทำกับใบเลื่อย ดังรูปที่ 3.1



ซึ่ง $W_{\max}$ หาได้จากน้ำหนักมาตรฐานของเอกสารประกอบซึ่งมีอยู่ 3 ขนาด คือ 25, 50, 100 กรัม

$$W_{\max} = 175 \text{ กรัม เท่ากับ } 1.7167 \text{ N.}$$

ซึ่ง f จะหาได้จาก

$$f = \mu \cdot N$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ μ = ส.ป.ส. แรงเสียดทาน
 N = แรงปฏิกิริยาที่กระทำตั้งฉากที่ผิวกระทำต่อวัตถุ

ต้องการเลือกใช้ค่า μ จากวัสดุที่มีค่าแรงเสียดทานระหว่างใบเลื่อยกับชิ้นงานที่มากที่สุด อ้างอิงจาก หนังสือตารางงานโลหะเรียบเรียงโดย รศ.บรรเลง ศรีนิล และ ผศ.ประเสริฐ ก๊วยสมบุรณ์ ซึ่ง $\mu = 0.6$ จากรูป $N = W$ เพราะฉะนั้น $f = 0.6 \times 1.7167$

แทนค่าในสมการ

$$F = \sqrt{W^2 + f^2}$$

$$F = \sqrt{(1.7167)^2 + (0.6 \times 1.767)^2}$$

$$F = 2 \text{ N.}$$

3.1.2 หาแรงบิด ที่กระทำบนเพลลา

จากสูตร

$$T = F \cdot r$$

เมื่อ r คือ รัศมีของใบเลื่อย

แทนค่าในสมการ

$$T = 2 \times 101.6$$

$$T = 203.2 \text{ N.m.}$$

3.1.3 ทำการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา

จากสูตร

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

เมื่อ C_m, C_t = ค่าตัวประกอบความล้า เลือกใช้จากตาราง 2.5 จากหนังสือ การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1 โดย คร.วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ณนังงาน โดยเลือกใช้ค่าในช่วงที่เพลลาหมุน มีแรงกระตุกอย่างเบา ซึ่งค่าของ C_t มีค่าเท่ากับ 1.5 และ C_m มีค่าเท่ากับ 2

เมื่อ M = โมเมนต์คด(ในที่นี้ไม่คิด เพราะมีค่าน้อยมาก)

τ = ความเค้นเฉือน

เนื่องจากเพลลามีร่องลึ้มจึงเลือกใช้ ค่า $\tau = 41 \text{ N/mm}^2$ ตาม Code ของ ASME ที่ได้แนะนำไว้

แทนค่าในสมการ

$$\begin{aligned}d^3 &= \frac{16}{\pi \tau} \sqrt{(1.5 \times 203.2)^2 + (1.5 \times 10^2)} \\d^3 &= 37.86 \text{ mm}^3 \\d &= 3.4 \text{ mm}.\end{aligned}$$

3.1.4 หากำลังงาน(W)

จากสูตร $P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot T$

ซึ่ง n = ความเร็วรอบ

จากเอกสารประกอบเครื่อง ได้ให้ค่าช่วง n ไว้เท่ากับ 0-300 rpm. ดังนั้นจึงใช้ $n = 300$

แทนค่าในสมการ

$$\begin{aligned}P &= 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{300}{60}\right) \times 203.2 \times 10^3 \\P &= 64 \text{ w}.\end{aligned}$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลัง $P = 64 \text{ w}$ ที่คำนวณออกมามีค่าน้อยกว่ากำลังที่กำหนดไว้ในเอกสารประกอบเครื่อง ดังนั้นจึงเลือกใช้กำลังมอเตอร์ที่มีขนาด 15 วัตต์ (ตามเอกสารประกอบเครื่อง) ดังนั้นจึงทดลองคำนวณหาค่า Torque ใหม่

จากสูตร $P = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot T$

โดยใช้ $P = 15 \text{ w}$
 $n = 300 \text{ rpm}.$

แทนค่าในสมการจะได้ค่า

$$\text{Torque} = 0.477 \text{ N.m}.$$

3.1.5 หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาลำใหม่

จากสูตร
$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2}$$
$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau} \sqrt{(1.5 \times 477)^2 + 0}$$
$$d = 4.5 \text{ mm.}$$

จะได้ค่าขนาด เส้นผ่านศูนย์กลางเพลาลำใหม่ เท่ากับ 4.5 mm. เพื่อค่าความปลอดภัยไว้ โดยเลือกใช้ ที่ 2-3 เมื่อนำมาคำนวณแล้วจะได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลาลำประมาณ 13.5 mm.

แต่เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของรูภายในของใบเลื่อยมีขนาดเท่ากับ 12.7 mm. ดังนั้น ในการ ออกแบบเราจึงใช้เพลาลำที่มีขนาดให้ใกล้เคียง 12.7 mm. เพื่อที่จะสามารถใส่ใบเลื่อยในเพลาลำได้อย่างเหมาะสม ส่วน ความยาวของเพลาลำนั้นเลือกใช้ความยาวที่สั้นที่สุด เพื่อความแข็งแรง โดยความยาวของเพลาลำนั้นขึ้นอยู่กับชิ้นส่วนที่มา ประกอบกันบนเครื่อง

3.1.6 การเลือกใช้มอเตอร์

โดยเราจะเลือกจากกำลังของมอเตอร์ที่มีขนาด 15 w. ตามที่หามาจากข้างต้น ส่วนขนาดชุดเกียร์ หด(Gear Head) เลือกจากความเร็รรอบที่อยู่ในช่วง 0- 300 rpm. จากเอกสารมอเตอร์ชุดนี้

3.1.7 การเลือกใช้ขนาดลิ้ม

โดยพิจารณา แรงที่กระทำบนลิ้มมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.2

จากสูตร
$$T = b \cdot l \cdot \tau \left(\frac{d}{2} \right)$$

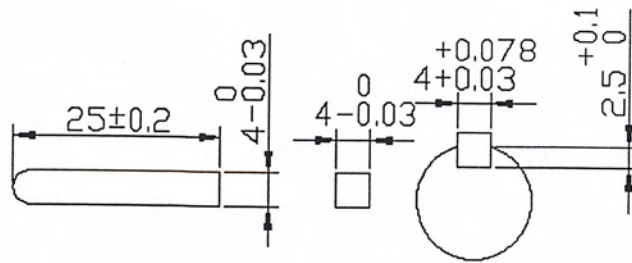
เมื่อ T = โมเมนต์บิดบนเพลาลำ
 d = เส้นผ่านศูนย์กลางเพลาลำ
 b = ความกว้างของลิ้ม
 l = ความยาวลิ้ม

สมมติให้ วัสดุที่ใช้ทำเพลาลำกับลิ้มเป็นวัสดุเดียวกัน ดังนั้นในการหาความยาวลิ้มจึงถือว่าลิ้มเพลาลำ รับโมเมนต์บิดเท่ากัน โดยหาความยาวลิ้ม

จากสูตร
$$l = \frac{\pi d^2}{8}$$

ค่าความกว้างของลิ้มเลือกใช้จากตารางที่ 2.6 ซึ่งจากตารางค่า b เท่ากับ 5 mm. แต่ขนาดความ กว้างของร่องลิ้มบนเพลาลำของแกนมอเตอร์ มีขนาดเท่ากับ 4 mm. ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ขนาดของลิ้มที่ใช้บนร่องลิ้ม

เลือกใช้ค่า b เท่ากับ 4 mm.

แทนค่าในสมการ

$$I = \pi \frac{12.7^2}{8 \times 4}$$

$$I = 15.8 \text{ mm.}$$

เพราะฉะนั้นเลือกใช้ความยาวลิ้มเท่ากับ 16 mm. ที่ขนาดพื้นที่หน้าตัด 4x5 mm.

3.1.8 การหาน้ำหนักคัมถ่วงสมดุลย์

1. หามวลแขนหมุน

จากสูตร $m = v \cdot \rho$

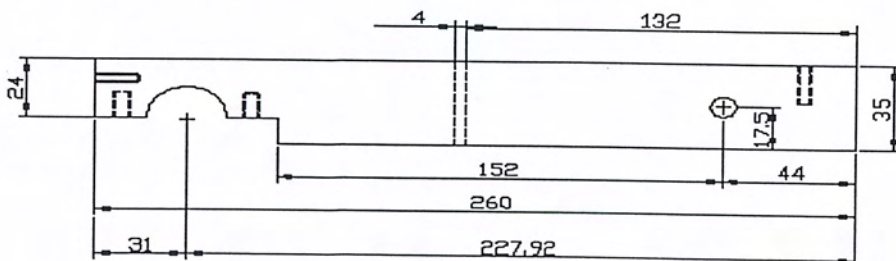
เมื่อ m = มวล

v = ปริมาตร

ρ = ความหนาแน่นของวัสดุ

วัสดุที่ใช้ทำแขนเป็นอลูมิเนียมค่า $\rho = 0.00269 \text{ kg/cm}^3$

- หาปริมาตรแขนหมุน จากรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แขนหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$v = 87.48635 \text{ cm}^3$$

แทนค่าในสมการ

$$m = 87.48635 \times 0.00269$$

$$m = 0.235 \text{ kg.}$$

2. หามวลที่ปากกาจับชิ้นงาน

จากสูตร

$$m = v \cdot \rho$$

วัสดุที่ใช้ทำแกนเป็นอลูมิเนียมค่า $\rho = 0.00269 \text{ kg/cm}^3$

- หาปริมาตรปากกาจับชิ้นงาน จากรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ปากกาจับชิ้นงาน

จะได้

$$v = 55.3 \text{ cm}^3$$

แทนค่าในสมการ

$$m = 55.3 \times 0.00269$$

$$m = 0.149 \text{ kg.}$$

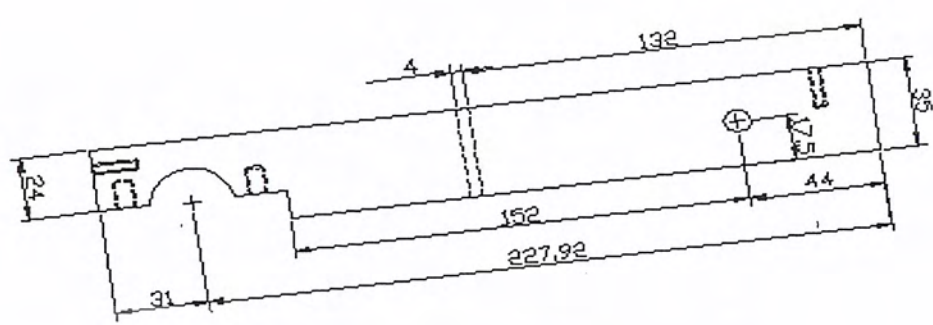
3. หาจุด CG. ของแกนหมุน

ทำการคำนวณได้จุด CG. ที่ตำแหน่ง $\bar{x} = 123.6 \text{ mm.}$ และ $\bar{y} = 17.535 \text{ mm.}$

4. หาจุด CG. ของปากกาจับชิ้นงาน

ทำการคำนวณได้จุด CG. ที่ตำแหน่ง $\bar{x} = 36 \text{ mm.}$ และ $\bar{y} = 20 \text{ mm.}$

- Take Moment เพื่อหาขนาดค้ำน้ำหนักที่ใช้ถ่วงแขนหมุนให้อยู่ในลักษณะดังรูปข้างล่างนี้

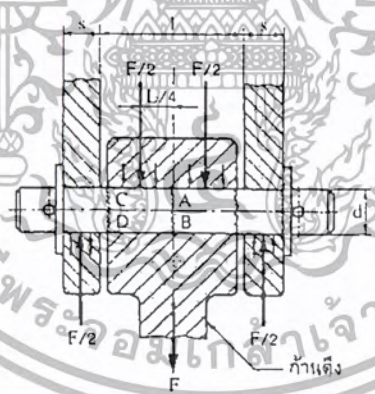


รูปที่ 3.5 แสดงการ Take Moment หาขนาดค้ำน้ำหนัก

$$\begin{aligned}
 M_{\text{ทวน}} &= M_{\text{ถ่วง}} \\
 96.59 \times W &= (102.77 \times 0.235) + (179.66 \times 0.149) \\
 W &= 0.66 \text{ kg.}
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นค้ำน้ำหนักต้องมีขนาดเท่ากับ 0.66 kg. จึงทำให้แขนหมุนอยู่ในลักษณะดังรูปนี้

3.1.9 หาขนาดสลักที่ใช้ล็อกบูตตรงรับถ่วงน้ำหนัก ซึ่งลักษณะแรงที่มากระทำเป็นดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.6 แรงบนสลัก

1. หาโมเมนต์

จากสูตร $M = F/2 [(l/4) + (s/2)]$

- เมื่อ l = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางรูในของบูต
- s = ความหนาของบูต
- F = แรงที่มากระทำกับสลัก

แรงที่กระทำกับสลัก หากมวลของน้ำมันรวมกับมวลของถังใส่น้ำมันซึ่งมวลของน้ำมันและถังใส่น้ำมันหาได้

จากสูตร $m = V \cdot \rho$

หามวลของน้ำมัน ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} m &= 180.81 \times 0.00085 \\ m &= 0.1537 \text{ kg.} \end{aligned}$$

หามวลของถังใส่น้ำมัน ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} m &= 18.5 \times 0.00785 \\ m &= 0.145 \text{ kg.} \end{aligned}$$

จากการคำนวณได้มวลของน้ำมันและถังใส่น้ำมันเท่ากับ 0.2987 kg. = 2.93 N.ทำการแทนค่า

$$\begin{aligned} M &= 2.93/2 [(20/74)+(5/2)] \\ M &= 11 \text{ N.m.} \end{aligned}$$

เลือกใช้ค่าความเค้นอัดของวัสดุเหล็ก (st 37) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 150 N.m² จากตารางงานโลหะ โดย รศ.บรรเลง ศรีนิล และ ผศ.ประเสริฐ กัญธามบรรณ

2. หาขนาดสลัก

จากสูตร $d^3 = \frac{32M}{\pi \sigma}$

$$d = 0.9 \text{ mm.}$$

เพราะฉะนั้นเพื่อความปลอดภัยเลือกเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักขนาดใหญ่กว่า 0.9 mm ในที่นี้เลือกเส้นผ่านศูนย์กลางของสลักเท่ากับ 4 mm.

3.2 อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์

3.2.1 ไมโครสวิตช์

3.2.1.1 ข้อกำหนดคุณสมบัติของไมโครสวิตช์

ก. ข้อกำหนดคุณสมบัติของไมโครสวิตช์ทางเชิงกล

1. ข้อกำหนดของแรงที่มากระทำ

1.1 O.F. (Operting Force) คือ ขนาดของแรงที่มากระทำให้แก่สวิตช์ของไมโครสวิตช์กดหน้าสัมผัสให้ต่อวงจร

1.2 R.F. (Release Force) คือ ขนาดของแรงที่ทำให้แกนสวิตช์ถอนตัวจากการทำงาน

1.3 T.F. (Full Overload Force) คือ ขนาดของแรงที่ทำให้แกนสวิตช์กดหน้าสัมผัสจากจุด FP ไปจนถึงจุด TTP

2. ข้อกำหนดของระยะทำงาน

2.1 D.T. คือ ระยะแตกต่าง ขณะที่ไมโครสวิตช์เริ่มทำงาน กับขณะที่ไมโครสวิตช์เริ่มถอนตัวจากการทำงาน

2.2 F.P. คือ ความสูงของแกนสวิตช์เมื่อปกติยังไม่มีอะไรมากดแกนสวิตช์

2.3 O.P. คือ ระยะที่แกนสวิตช์ยุบตัวลงไปกดหน้าสัมผัสให้ต่อวงจร

2.4 O.T. คือ ระยะทางเคลื่อนที่ที่ปลอดภัยที่แกนสวิตช์จะเคลื่อนที่ต่อไปได้หลังจากที่แกนสวิตช์กดให้หน้าสัมผัสต่อวงจรแล้ว หรือระยะจาก OP ถึง TTP

2.5 P.T. คือ ระยะก่อนที่แกนสวิตช์ยุบตัวลงไปกดหน้าสัมผัสให้ต่อวงจรแล้ว หรือระยะจาก FP ถึง OP

2.6 R.P. คือ ระยะต่ำสุดของแกนสวิตช์ที่ถอนตัว แล้วทำให้หน้าสัมผัสของไมโครสวิตช์ตัดวงจร

2.7 T.T. คือ ระยะของแกนสวิตช์ จวก FP ถึง TTP

2.8 T.T.P. คือ ระยะต่ำสุดของแกนสวิตช์ ที่จะยุบลงได้

ข. ข้อกำหนดคุณสมบัติของไมโครสวิตช์ทางไฟฟ้า

1. อัตราทนกระแส คือ อัตราทนกระแสปกติของหน้าสัมผัส

2..Make And Break Voltage คือ แรงดันที่หน้าสัมผัสต่อวงจรซึ่งจะสัมพันธ์กับอัตราทนกระแสของหน้าสัมผัส เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดแบบ Resistive หรือ Inductive จะเห็นว่าอัตราทนกระแสเมื่อใช้กับโหลดแบบ Inductive จะน้อยกว่าโหลดแบบ Resistive เพราะว่าการตัดต่อกระแสให้กับโหลดแบบ Inductive เกิดการอาร์ค จึงใช้ตัดต่อกระแสได้ต่ำกว่าโหลดแบบ Resistive

3. Resistive คือ อัตราทนกระแสสูงสุด เมื่อมีโหลดแบบ Resistive ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่หน้าสัมผัสตัดต่อวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Inductive คือ อัตราทนกระแสสูงสุดเมื่อมีโหลดแบบ Inductive ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่หน้าสัมผัสตัดต่อวงจร
5. Motor Load คือ อัตราทนกระแสสูงสุด เมื่อโหลดเป็นมอเตอร์โดยคำนึงถึงสถานะของการทำงานของหน้าสัมผัสด้วยว่าอยู่ในสถานะ NO หรือ NC
6. ความต้านทานของฉนวน คือ ความต้านทานทางไฟฟ้าของฉนวนที่ทำตัวถัง
7. อายุการใช้งานของหน้าสัมผัส มี 2 แบบคือ

- อายุการใช้งานทางกลของหน้าสัมผัส คืออายุการใช้งานของหน้าสัมผัสเมื่อต้องการตัดต่อวงจรของหน้าสัมผัสยังไม่มีโหลดอยู่
- อายุการใช้งานของหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าของหน้าสัมผัส คืออายุการใช้งานของหน้าสัมผัสเมื่อการตัดต่อวงจรของหน้าสัมผัสมีโหลดต่ออยู่

จากข้อกำหนดคุณสมบัติของบริษัทผู้ผลิตดังตัวอย่างในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างข้อกำหนดคุณสมบัติของไมโครสวิตซ์ทางไฟฟ้า

DC

Thermal current Current (A)	Make and break current Voltage (V)	Resistive (A)	Inductive (A)
15	or less 30 125 250	15 6 0.5 0.25	10 5 0.05 0.03

AC

Thermal current Current (A)	Make and break current Voltage (V)	Resistive (A)	Inductive (A)	Motor load Normally closed Normally open contact(A)	
15	125 250 480	15 15 3	10 10 2	5 3 1.5	2.5 1.5 0.75

3.2.1.2 การนำไมโครสวิตซ์ไปใช้งาน

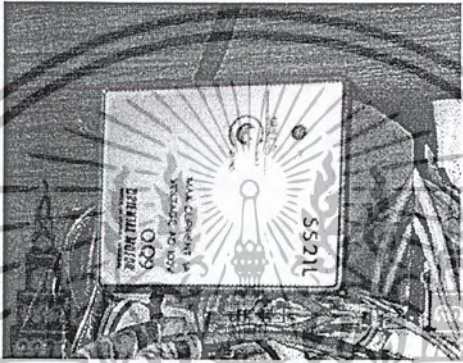
ไมโครสวิตซ์มักนิยมนำไปประยุกต์ใช้งานทางอุตสาหกรรมและเครื่องมือวัดอย่างกว้างขวาง เช่น เป็นสวิตซ์ตรวจจับต่างๆ สวิตซ์นิรภัย จากการทำงานของเครื่องจักรระบบสายพานลำเลียง งานด้านกันขโมยระบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเครื่องจักรกลอัตโนมัติ เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีหลายรุ่นหลายแบบหลายรูปร่างให้เลือกใช้งานตามความเหมาะสม คือ นำไมโครสวิทช์ไปใช้งานได้ 2 ลักษณะ คือ

- 1. ใช้ป้องกันการทำงานของเครื่องจักรไม่ให้เกินขอบเขตที่กำหนด
- 2. ใช้ในการควบคุมงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิต

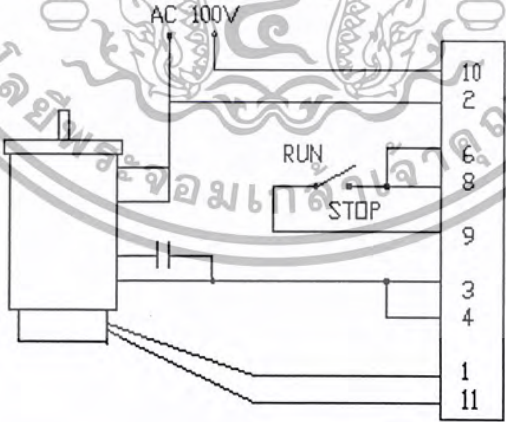
3.2.2 คอนโทรลแพ็ค(Control Pack)

เป็นอุปกรณ์สำคัญที่คอยควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้มีความเร็วที่ต้องการทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับอัตราทดของหัวเกียร์ด้วยดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วของมอเตอร์(Control Pack)

ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมีลักษณะการต่อวงจรไฟฟ้า ดังรูปที่ 3.8



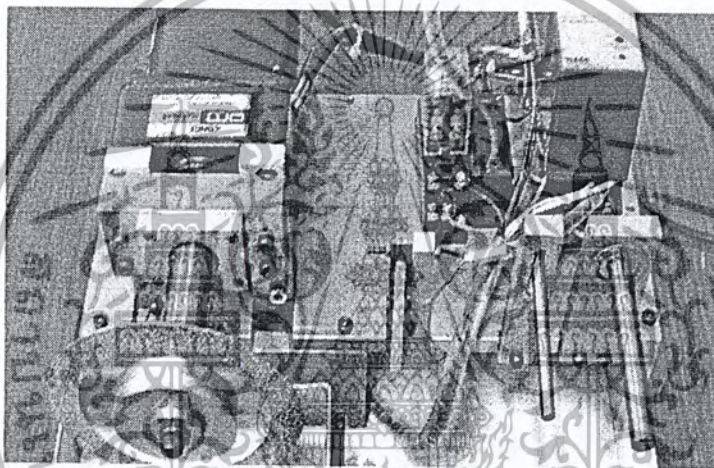
รูปที่ 3.8 การต่อวงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์ควบคุมความเร็วของมอเตอร์(Control Pack)

3.3 ขั้นตอนการสร้างเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ

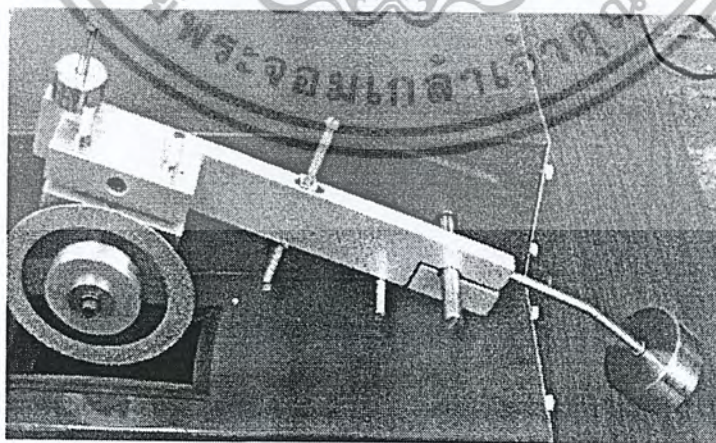
การสร้างเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ จะต้องมีการวางแผนและจัดลำดับขั้นตอนการสร้างไว้เป็นขั้นตอน และจะต้องปฏิบัติตามขั้นตอนจึงสามารถบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ได้ โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ซ่อมมอเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆ
2. จัดทำชุดประกอบฐานเครื่อง
3. จัดทำชุดแขนหมุนและชุดปากกาจับชิ้นงาน
4. จัดทำชุดรองรับถังน้ำมันและถังใส่น้ำมันหล่อเย็น
5. จัดทำเพลาลูกเบี้ยวและชุดประกอบใบเลื่อย
6. ต่อมอเตอร์กับชุดควบคุมความเร็ว
7. ต่อวงจรไฟฟ้า
8. จัดทำโครงของเครื่อง
9. จัดทำการยึดชิ้นส่วนต่างๆและตกแต่ง

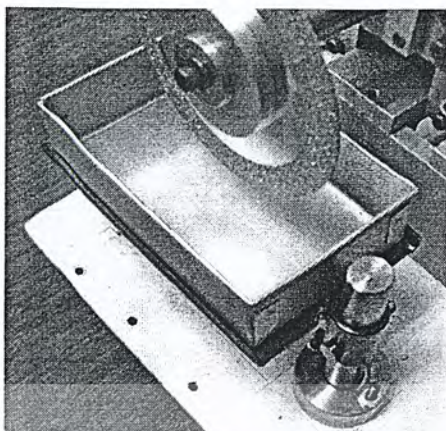


รูปที่ 3.9 ชุดฐานเครื่อง

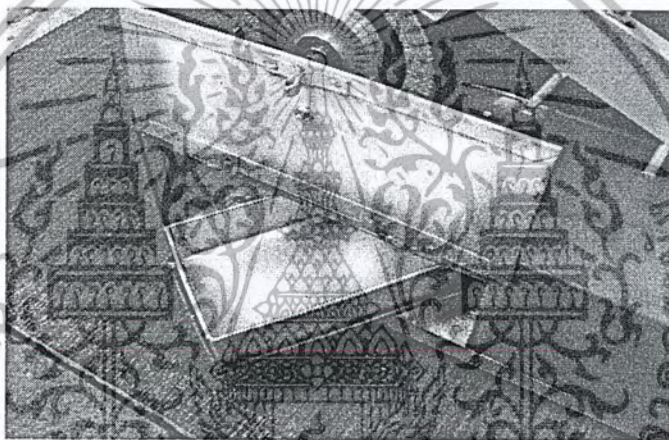


รูปที่ 3.10 ชุดแขนหมุน

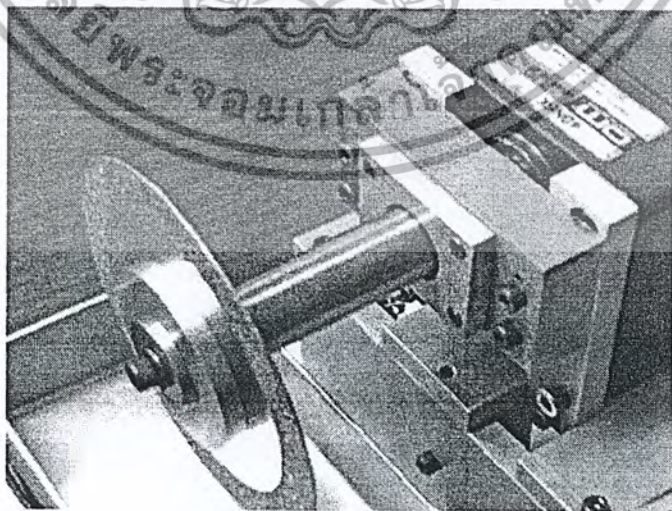
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 (ก) ชุดรองรับถังน้ำมันและถังใส่น้ำมัน

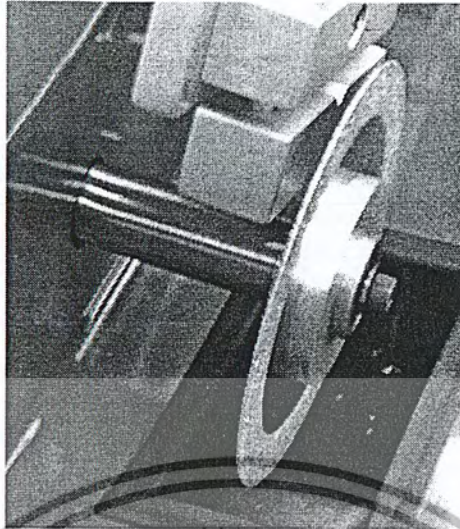


รูปที่ 3.11 (ข) ชุดรองรับถังน้ำมันและถังใส่น้ำมัน

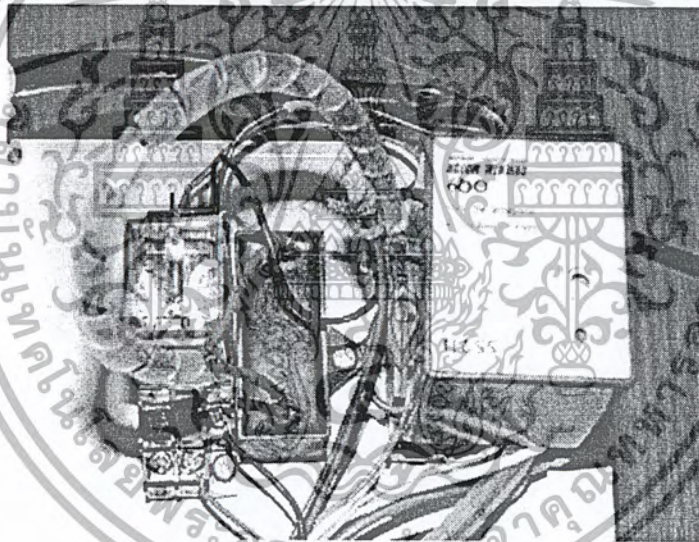


รูปที่ 3.12 (ก) เพลลาและชุดประกบเพลลา

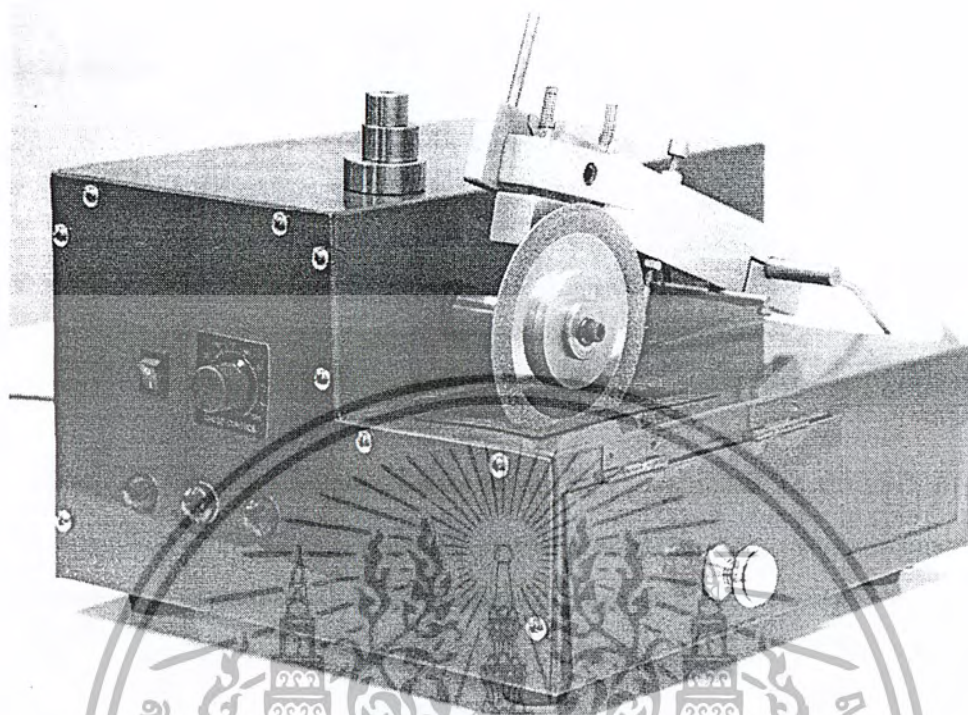
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 (ข) เฟลาและชุดประกบเฟลา



รูปที่ 3.13 วงจรไฟฟ้า



รูปที่ 3.14 เครื่องเคียวความเร็วต่ำ

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการสร้างเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ เพื่อใช้ในการตัดชิ้นทดสอบในการศึกษาโครงสร้างของชิ้นงานในทางโลหะวิทยา เมื่อได้ดำเนินการสร้างเสร็จแล้ว ต้องผ่านการทดลองเพื่อปรับปรุงแก้ไข และบันทึกข้อมูลไว้เพื่อทำการวิเคราะห์ความเหมาะสม และนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ

4.1 ขั้นตอนการใช้เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ

1. นำตัวอย่างทดสอบที่ต้องการตัดด้วยปากกาที่เครื่อง
2. ตรวจสอบตำแหน่งของชุดค้ำกับลิ้มิตสวิตช์
3. เติมน้ำหล่อเย็น
4. เปิดสวิตช์มอเตอร์
5. หมุนปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ต้องการ
6. ใช้ค้อนน้ำหนักถ่วงเพื่อให้ตัวอย่างทดสอบตกลงบนใบเลื่อย
7. เมื่อตัดตัวอย่างทดสอบขาดแล้วลิ้มิตสวิตช์จะทำการตัดการทำงานของมอเตอร์
8. ปิดสวิตช์มอเตอร์
9. นำค้อนน้ำหนักออก
10. นำตัวอย่างทดสอบออก
11. คลายปากกานำตัวอย่างทดสอบออก

4.2 ขั้นตอนการทดสอบเครื่อง

การทดสอบใช้เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำที่ได้สร้างขึ้นในขั้นต้น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำซึ่งได้กำหนดตัวอย่างทดสอบทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่

1. กระฉก
2. ใบเลื่อยของเลื่อยมือ
3. คีป M4×0.7

ตัวอย่างทดสอบที่นำมาทดสอบนั้นจะทำการทดลองตัดอย่างละ 3 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งจะใช้ค้อนน้ำหนัก 25, 50 และ 100 กรัมตามลำดับ เพื่อหาระยะเวลาในการตัดตัวอย่างทดสอบแต่ละชนิดโดยใช้น้ำหนักที่ตกลงบนใบเลื่อยต่างๆกัน และเพื่อทดสอบการแกว่ง(ไมครอน) ของเพลที่ทำงานทั้งก่อนหลังและระหว่างการตัดชิ้นงานทั้ง 3 ชนิด

4.3 ผลการทดสอบเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ

จากการทดสอบการเลื่อยตัวอย่างทดสอบต่างๆที่ได้กำหนดไว้ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการตัดกระจก

ชนิดของวัสดุ	พื้นที่หน้าตัด กว้าง×หนา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	น้ำหนักที่กด (กรัม)	เวลา (นาทึ่)
1. กระจก	5× 7.5	254	25	6
2. กระจก	5× 7.5	254	50	5
3. กระจก	5× 7.5	254	100	4

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการตัดใบเลื่อย

ชนิดที่ของวัสดุ	พื้นที่หน้าตัด กว้าง×หนา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	น้ำหนักที่กด (กรัม)	เวลา (นาทึ่)
1. ใบเลื่อยของ เลื่อยมือ	0.7× 12	254	25	35
2. ใบเลื่อยของ เลื่อยมือ	0.7× 12	254	50	28
3. ใบเลื่อยของ เลื่อยมือ	0.7× 12	254	100	19

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการตัดดอกตัดป M4× 0.7

ชนิดที่ของวัสดุ	พื้นที่หน้าตัด เส้นผ่านศูนย์กลาง กลาง (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	น้ำหนักที่กด (กรัม)	เวลา (นาทึ่)
1. ดอกตัดป M4× 0.7	5	254	25	134
2. ดอกตัดป M4× 0.7	5	254	50	115
3. ดอกตัดป M4× 0.7	5	254	100	36

หมายเหตุ : ไม่ได้มีการเปลี่ยนใบเลื่อยระหว่างการทดสอบ

ผลการทดลองตัดวัสดุทั้ง 3 ชนิด แล้วพบว่า การตัดดอกตัดป M4× 0.7 ใช้ระยะเวลาในการตัดนานที่สุด รองลงมาคือ ใบเลื่อยของเลื่อยมือ และกระจก ตามลำดับ จากการทดสอบการตัดวัสดุดังกล่าวพบว่าสามารถทำให้วัสดุดังกล่าวขาดได้จริงถึงแม้วัสดุเปราะที่ตัดบางชนิด จะใช้ระยะเวลาในการตัดนาน และจากการเฝ้าสังเกตโดยการ

สัมผัสด้วยมือพบว่าชิ้นงานตลอดระยะเวลาในการตัดนั้น ไม่ทำให้เกิดความร้อนบนชิ้นงานเลย ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในการตัดวัสดุโดยทั่วไปนั้นจะทำให้โครงสร้างทางโลหะวิทยาที่ตรวจสอบนั้นไม่ถูกต้อง

4.4 ผลการทดสอบทางการใช้งาน

เมื่อเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำได้มีการใช้งานที่มากขึ้น การแกว่งของเพลากบนแกนของมอเตอร์จึงเป็นส่วนสำคัญที่ต้องทดสอบซึ่งจากการทดสอบ (วัดด้วยไดอัลเกจ) ได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.4 ตรวจสอบการแกว่งของเพลาก่อน-หลัง และระหว่างการตัดกระจก

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนัก (กรัม)	ก่อนตัด (ไมครอน)	หลังตัด (ไมครอน)	ระหว่างการตัด (ไมครอน)
1. กระจก	25	2	2	6
2. กระจก	50	2	2	6
3. กระจก	100	2	2	6

ตารางที่ 4.5 ตรวจสอบการแกว่งของเพลาก่อน-หลัง และระหว่างการตัดใบเลื่อย

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนัก (กรัม)	ก่อนตัด (ไมครอน)	หลังตัด (ไมครอน)	ระหว่างการตัด (ไมครอน)
1. ใบเลื่อยของเลื่อยมือ	25	2	2	6
2. ใบเลื่อยของเลื่อยมือ	50	2	2	7
3. ใบเลื่อยของเลื่อยมือ	100	3	3	7

ตารางที่ 4.6 ตรวจสอบการแกว่งของเพลาก่อน-หลัง และระหว่างการตัดดอกตัวป M4×0.7

ชนิดของวัสดุ	น้ำหนัก (กรัม)	ก่อนตัด (ไมครอน)	หลังตัด (ไมครอน)	ระหว่างการตัด (ไมครอน)
1. ดอกตัวป M4× 0.7	25	3	3	6
2. ดอกตัวป M4× 0.7	50	3	5	6
3. ดอกตัวป M4× 0.7	100	6	6	10

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและผลการทดลอง

ก่อนที่จะสร้างเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำได้มีการออกแบบ และทำการตรวจวิเคราะห์แบบ แล้วจึงดำเนินงานสร้างชิ้นส่วนของเครื่องแต่ละชิ้น เมื่อเสร็จแล้วจึงมาประกอบเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ และทำการทดลองการทำงานของเครื่องเพื่อสรุปผลการดำเนินงานและทดลองผล

5.1 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

ในการดำเนินการสร้างเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำสิ่งที่สำคัญประการหนึ่งก็คือวางแผนการ ซึ่งเป็นการกำหนดแนวทางในการดำเนินงานเอาไว้ จากนั้นก็ดำเนินงานตามแผนที่ได้วางเอาไว้ จากการเตรียมแผนการดำเนินงานสร้างเครื่องตั้งแต่เริ่มต้นจนแล้วเสร็จนั้น ทำให้ได้ใช้ความรู้ความสามารถที่มีดำเนินการจนบรรลุวัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ คือ สร้างเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำ(low speed saw) เพื่อใช้ตัดชิ้นงานที่ต้องการนำไปทดสอบทางโลหะวิทยา จากผลการทดลองตัดตัวอย่างทดสอบทั้ง 3 ชนิด ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นวัสดุที่มีความแข็งสูงและเปราะ เครื่องเลื่อยความเร็วต่ำที่ได้สร้างขึ้นสามารถตัดตัวอย่างทดสอบทั้งสามชนิดได้โดยไม่เกิดการแตกหักขึ้นก่อน แสดงให้เห็นว่าการตัดด้วยเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวร(Plastic deformation) ในปริมาณต่ำ เนื่องจากวัสดุเปราะทนต่อการเสียรูปอย่างถาวร ได้ในปริมาณต่ำ ถ้าเครื่องเลื่อยทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวรในปริมาณสูงวัสดุเปราะที่ตัดจะถูกแยกออกจากกันด้วยการแตกหักก่อนที่ตัวอย่างทดสอบจะถูกตัดขาดออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ นอกจากนี้ผู้ปฏิบัติงานทางโลหะวิทยานั้นสามารถจะเร่งระยะเวลาการตัดชิ้นงานได้ โดยการเพิ่มน้ำหนักของลูกตุ้มถ่วงเข้าไปที่ช่องใส่ลูกน้ำหนัก ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับคุณภาพของใบเลื่อยที่นำมาใช้การตัดด้วย จึงจะสามารถทำการตัดชิ้นงานที่มีความแข็งมากๆ ได้โดยไม่สึกหรอของใบเลื่อยก่อนที่จะตัดชิ้นงานทดสอบขาด

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำปริญญานิพนธ์

1. ปัญหาในการออกแบบ จากการที่ได้ออกแบบไว้ในตอนแรกนั้นได้กำหนดขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ไว้เรียบร้อยแล้ว แต่เมื่อมาถึงขั้นตอนการสร้างเครื่องแล้ว เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นวัสดุบางอย่างสามารถใช้ได้ในภาควิชาแต่ก็ต้องมีการปรับแบบบ้างทำให้เสียเวลาในการทำงานไปบ้างพอสมควร
2. ปัญหาในการจัดซื้อ เป็นปัญหาที่เกิดจากการจัดซื้ออุปกรณ์เครื่องมือวัสดุในการผลิต วัสดุที่ต้องการนำไปใช้ไม่สามารถหาซื้อได้ตามแบบที่กำหนดทำให้เสียเวลาในการจัดหา
3. ปัญหาที่เกิดจากการผลิต เป็นปัญหาที่ทำให้ไม่สามารถทำงานได้อย่างสะดวก เช่น เครื่องมือมีไม่พอกับความต้องการ เครื่องมือหาย เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีความไม่เที่ยงตรง เป็นต้น
4. ปัญหาที่เกิดจากการซื้ออุปกรณ์ที่ไม่ได้คุณภาพ เช่น ปัญหาของเพลาชองมอเตอร์สาย ไม่ได้ศูนย์ ทำให้เสียเวลาอย่างมากในการแก้ไขปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

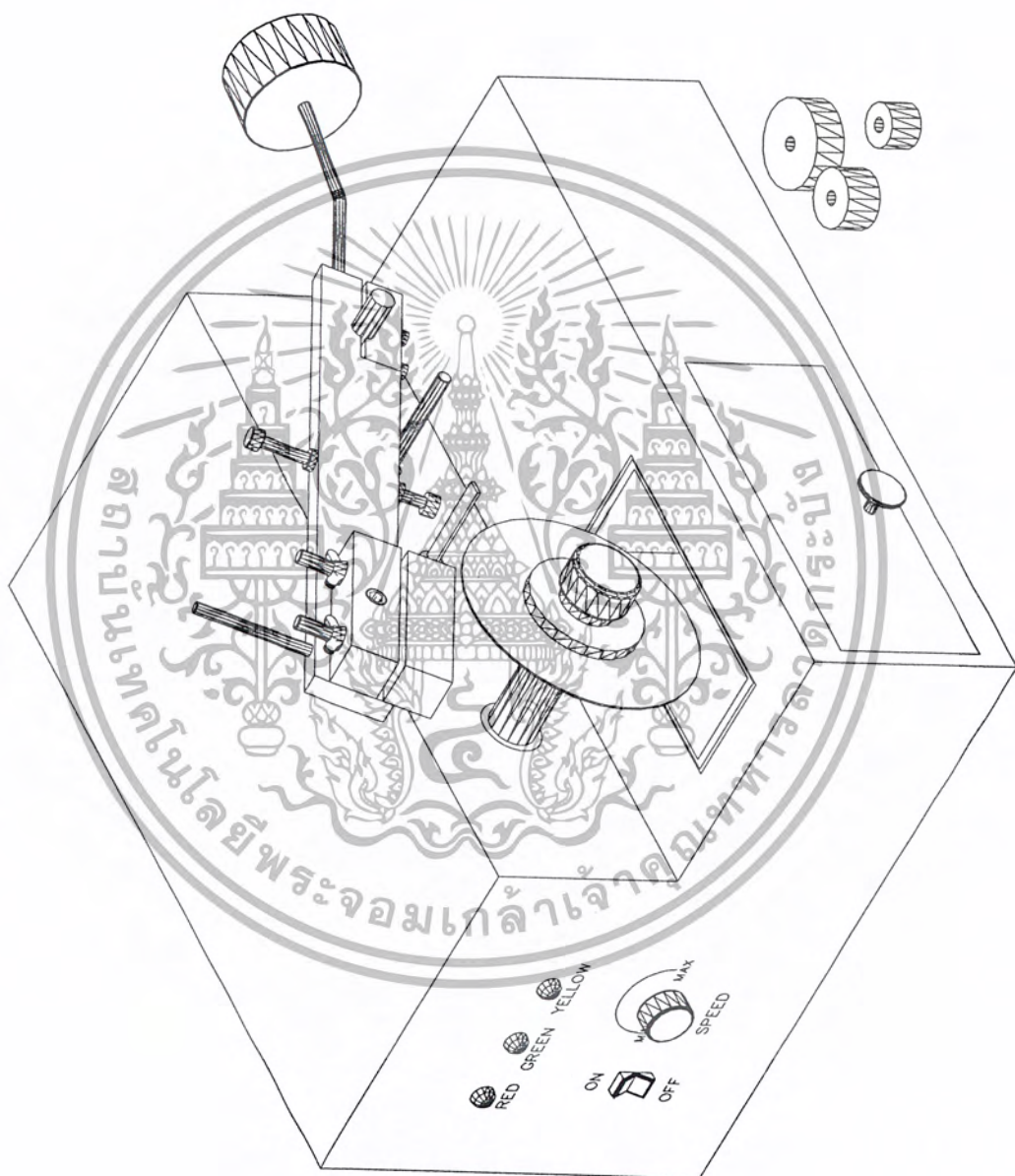
5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ปัญหาที่เกิดขึ้นในการสร้างเครื่องเลื่อยความเร็วต่ำนี้ก็คือ เพลลาและใบเลื่อยเกิดการส่ายขณะเปิดเครื่องหรือทำการตัดตัวอย่างทดสอบ ซึ่งเป็นผลทำให้เวลาตัดชิ้นงานแล้วทำให้ได้ผิวชิ้นงานที่ไม่เรียบ ดังนั้นจึงได้หาวิธีแก้ไขคือ นำแบร้งที่มีรูปทรงกระบอกมารองรับหรือประคองเพลลาเอาไว้ไม่ให้แกว่ง เหตุผลที่เลือกใช้แบร้งชนิดนี้ก็คือ แบร้งชนิดนี้สามารถรับแรงตามแนวตั้งและแนวแกนได้
2. ปัญหาที่เกิดขึ้นอีกประการหนึ่งก็คือ ทำแผ่นประกบใบเลื่อยเพื่อที่ช่วยจับยึดใบเลื่อยไม่ให้แกว่งขณะตัดตัวอย่างทดสอบ สิ่งสำคัญของการทำแผ่นประกบใบเลื่อย ก็คือแผ่นประกบใบเลื่อยจะต้องมีผิวที่ขนานกัน มิฉะนั้นจะทำให้ใบเลื่อยแกว่งได้ ซึ่งวิธีการที่จะทำให้แผ่นประกบใบเลื่อยขนานกันได้นั้นคือ การนำแผ่นประกบใบเลื่อยไปเข้าเครื่องเจียรในราบ

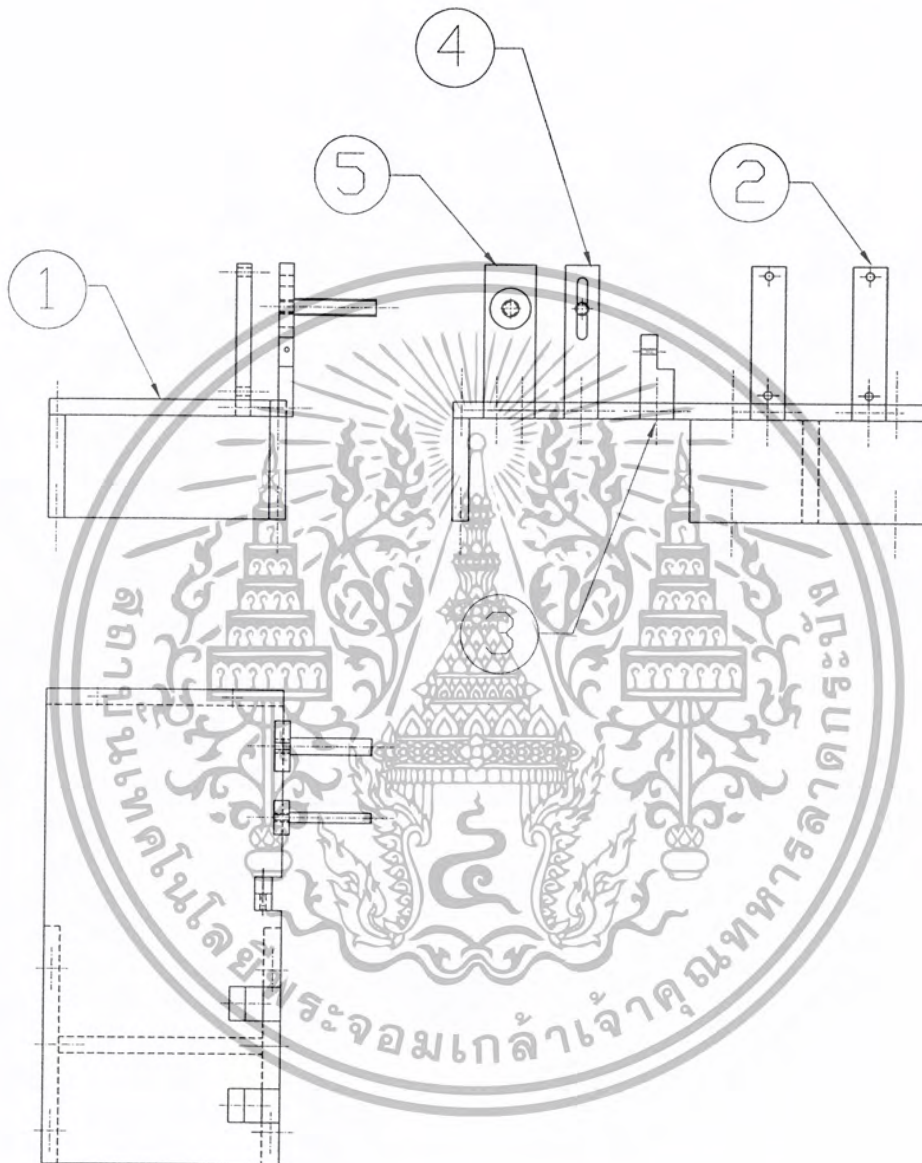




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

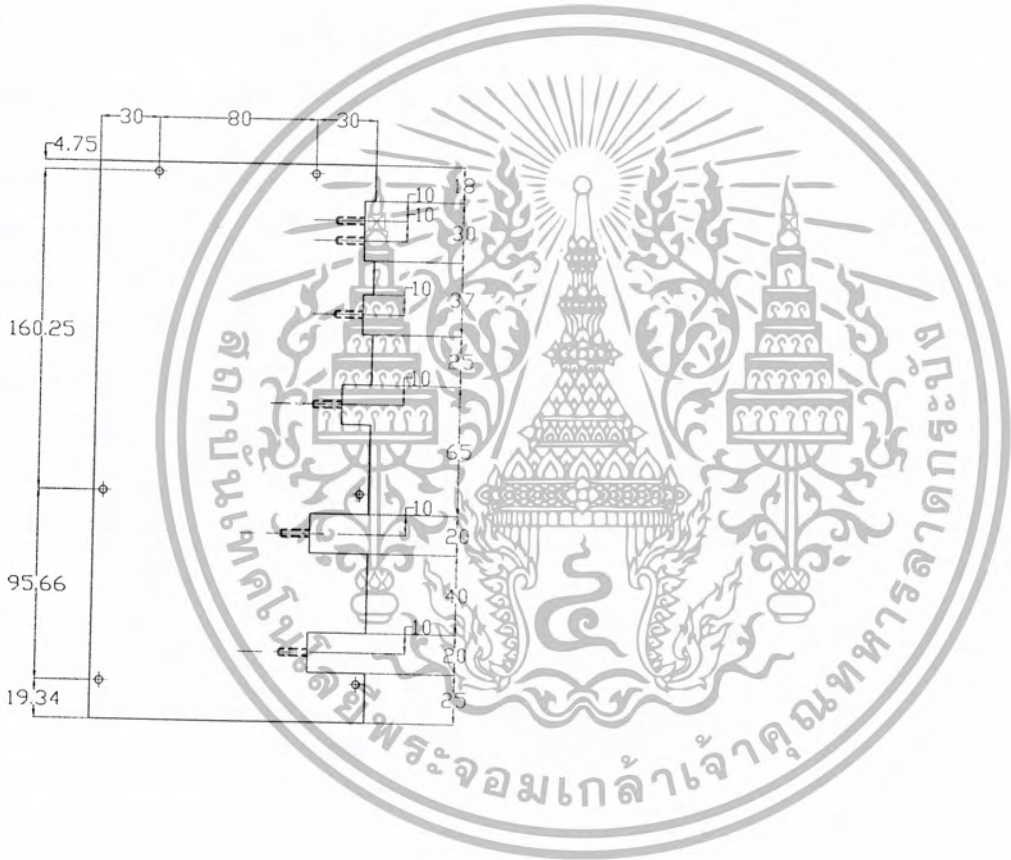
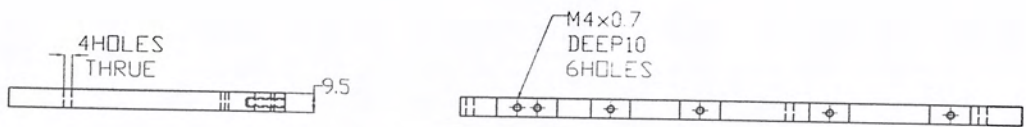


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



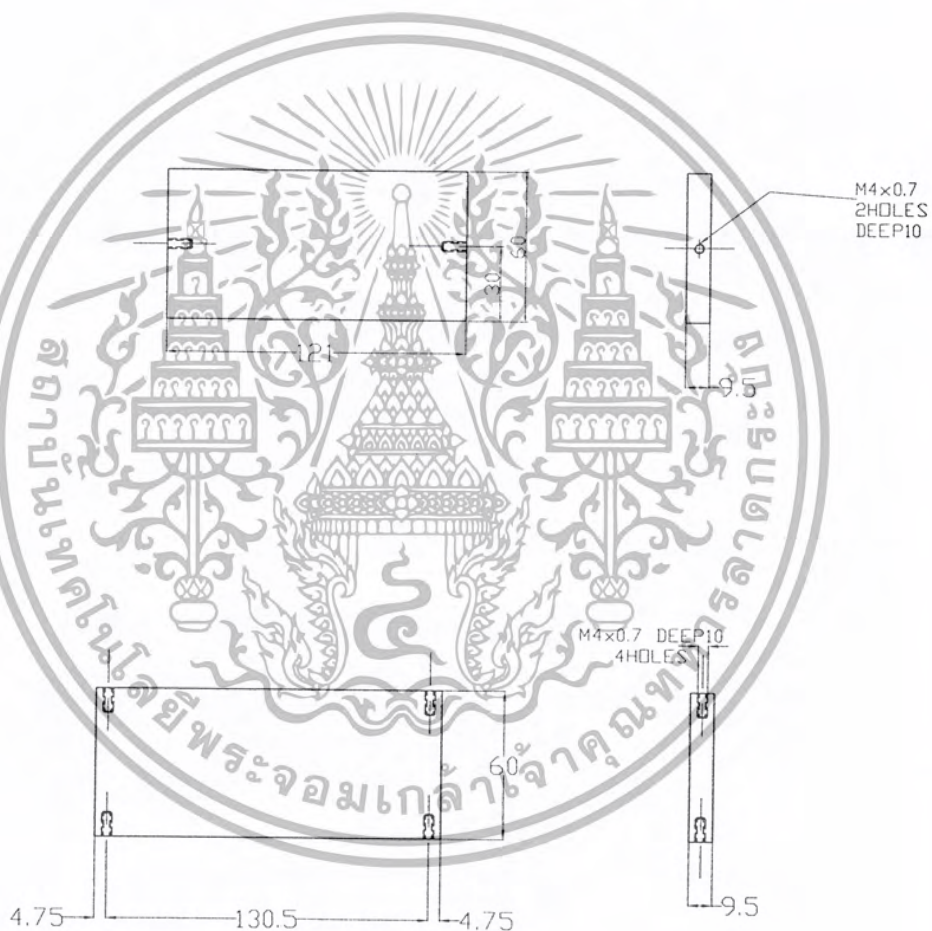
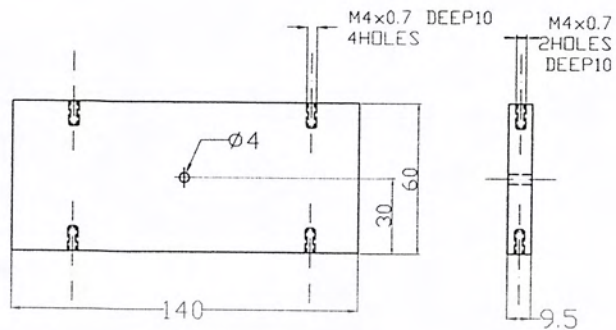
			ผู้เขียน	นายปิ่นภพ พัทธธีรอรณเพ	KMITL	
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรรณชัย กัลยาศิริ		
			ผู้ออกแบบ	นายชัตติยะ มาลัย		
5	ชุดรองรับแขนหมุน	105	ภาพประกอบฐานเครื่องเลื่อย			
4	ชุดกันแขนหมุน	104				
3	ตัวยึดลิ้มิตลวรีซ์	103				
2	แผ่นยึดมอเตอร์	102				
1	ฐานเครื่อง	101				
ชั้นที่	รายการ	หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลข 100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



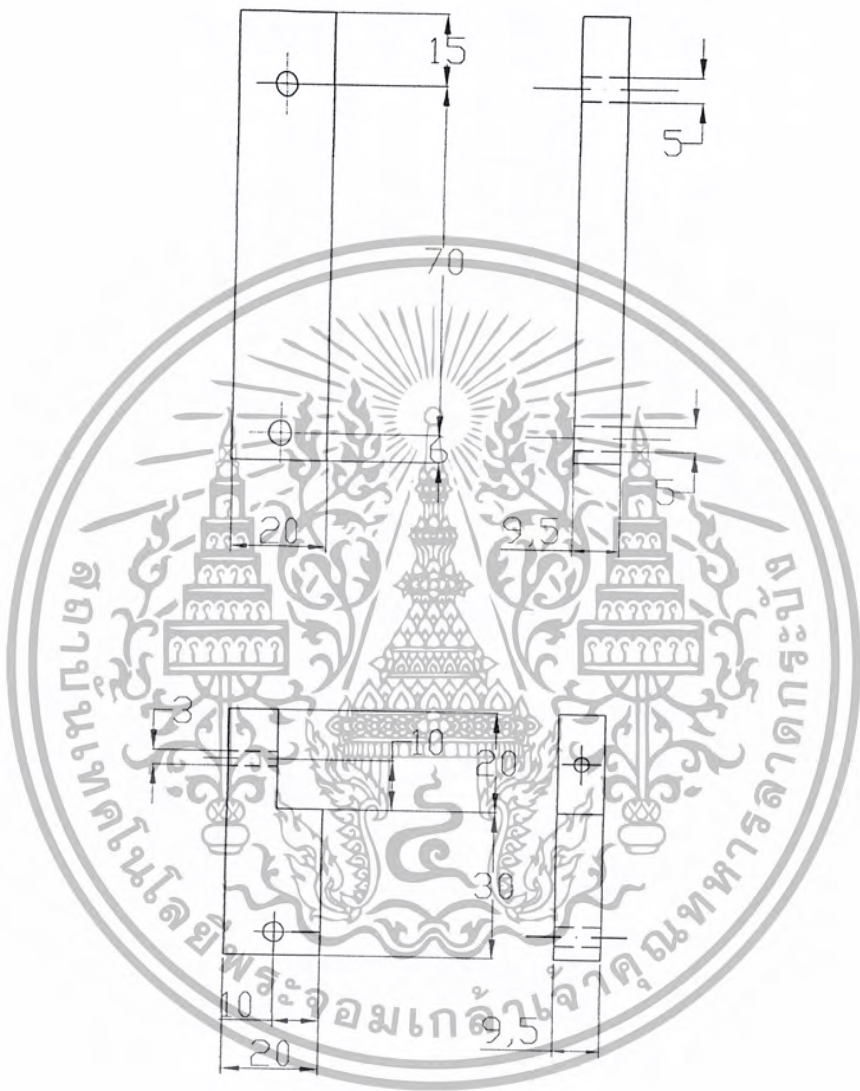
			ผู้เขียน	นายปิ่นภพ พัทธษอรณพ	KMITL	
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรรณชัย กัลยาศิริ		
			ผู้ออกแบบ	นายชิตติยะ มาลัย		
			ฐานเครื่องส่วนบน			
101	ฐานเครื่องส่วนบน	AI				
ชิ้นที่	รายการ	วัสดุ	ชื่อชิ้นงาน		100	ON SCALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



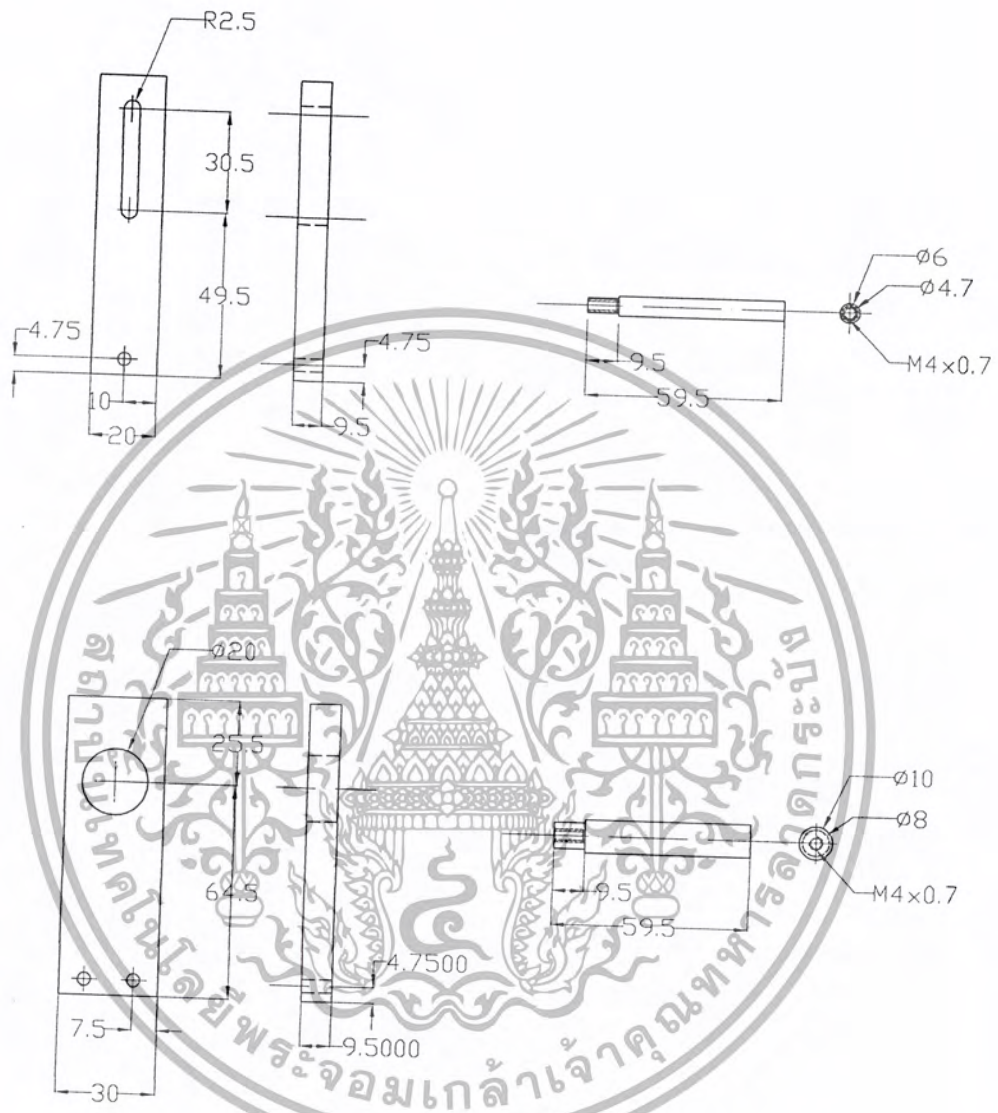
			ผู้เขียน	นายปิ่นภพ พิทักษ์อรุณเพ	KMITL	
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรรณชัย กัลยาศิริ		
			ผู้ออกแบบ	นายชิตติยะ มาลัย		
			ฐานเครื่องส่วนขา			
101	ฐานเครื่องส่วนขา	AI				
ชิ้นที่	รายการ	วัสดุ	ชื่อชิ้นงาน		100	ON SCALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



			ผู้เขียน	นายปิณภพ พิทักษ์อรุณเพ	KMITL	
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรณชัย กัลยาศิริ		
			ผู้ออกแบบ	นายชัตติยะ มาลัย		
			แผ่นยึดมอเตอร์			
103	ตัวยึดลิ้มิตสวิตส์	AI	และตัวยึดลิ้มิตสวิตส์			
102	แผ่นยึดมอเตอร์	AI				
ชั้นที่	รายการ	วัสดุ	ชื่อชิ้นงาน		100	ON SCALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



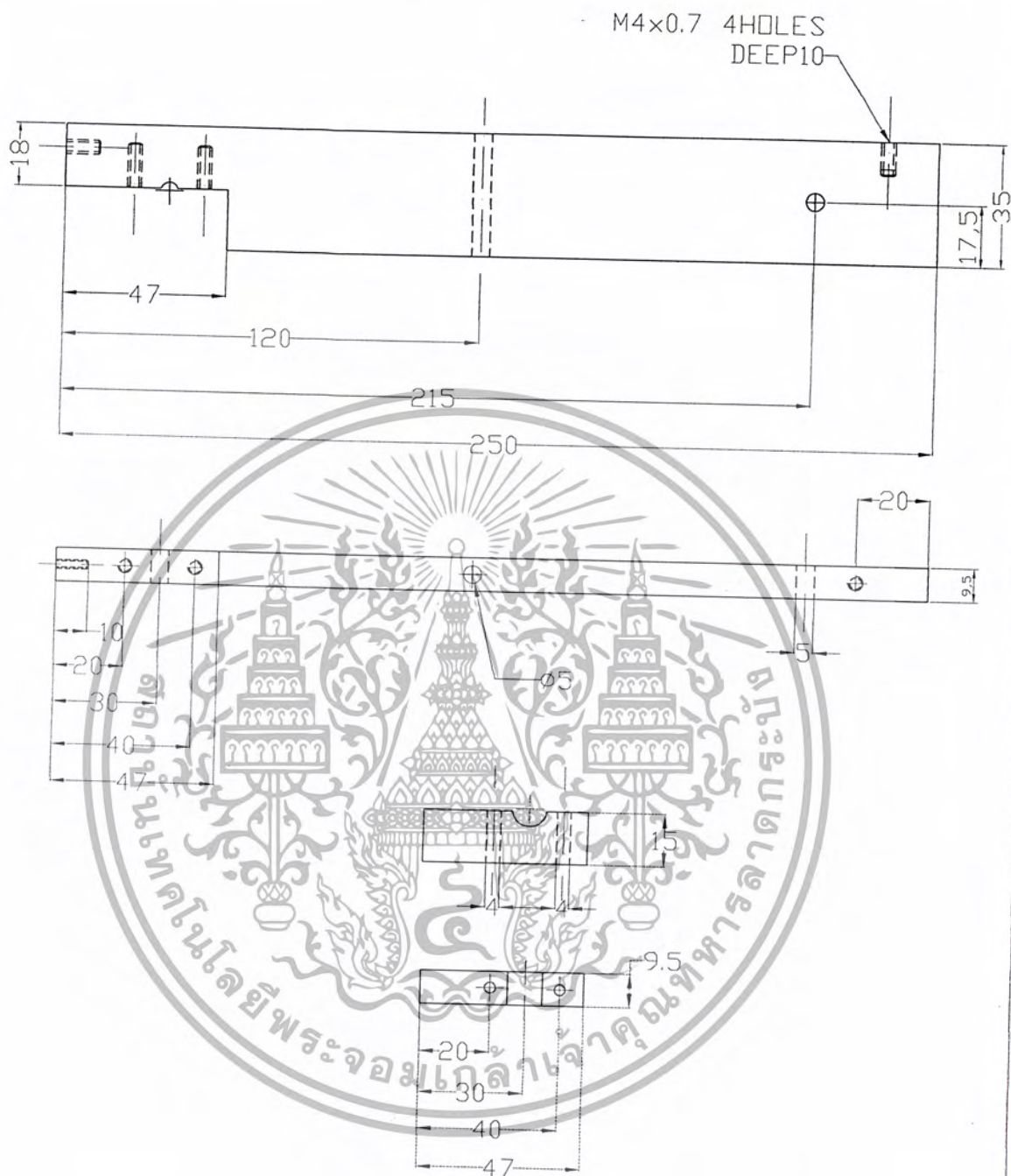
			ผู้เขียน	นายปิ่นภพ พัทธษอรณเพ	KMITL
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรรณชัย กัลยาศิริ	
			ผู้ออกแบบ	นางชัตติยะ มาลัย	
			ชุดกันชนหมุน และชุดรองรับแขนหมุน		
105	ชุดรองรับแขนหมุน	AI	ชื่อชิ้นงาน		100
104	ชุดกันชนหมุน	AI			
ชั้นที่	รายการ	วัสดุ			ON SCALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



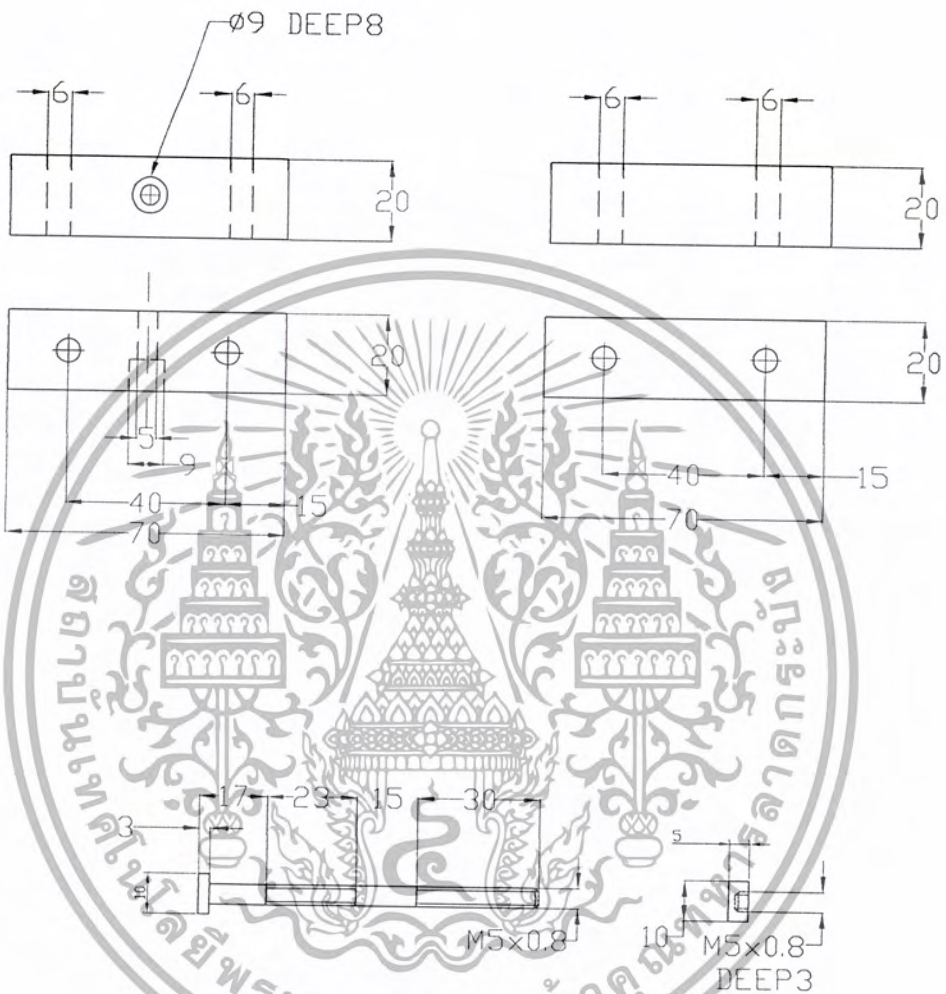
			ผู้เขียน	นายปิ่นภพ พิทักษ์อรุณเพ	KMITL	
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรรณชัย กัลยาศิริ		
			ผู้ออกแบบ	นายชัตติยะ มาลัย		
			ภาพประกอบแขนหมุน			
3	ตัวกลลิมิตสวิตช์	203				
2	ปากกาจับชิ้นงาน	202				
1	แขนหมุน	201				
ชั้นที่	รายการ	หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



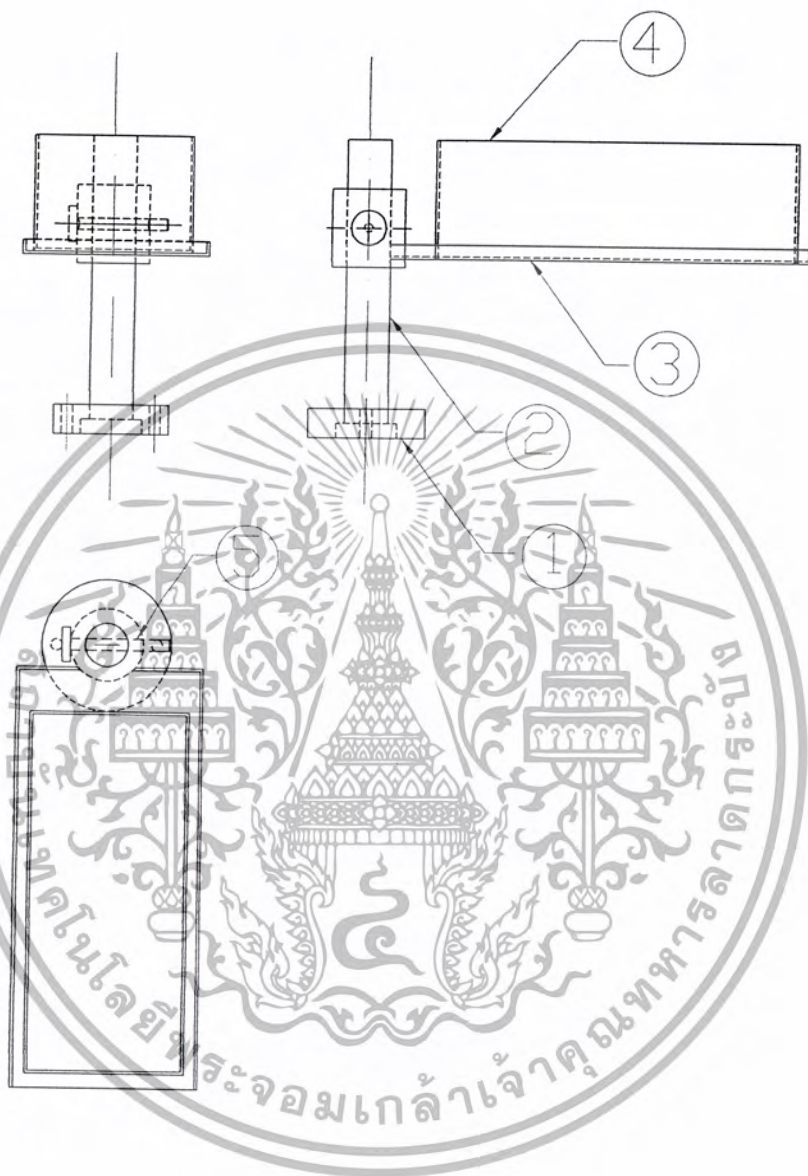
			ผู้เขียน	นายปิ่นภพ พัทธ์ธรรณพ	KMITL	
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรรณชัย กัลยาศิริ		
			ผู้ออกแบบ	นายชิตติยะ มาลัย		
			แขนหมุน			
201	แขนหมุน	AI	ชื่อชิ้นงาน		200	ON SCALE
ชั้นที่	รายการ	วัสดุ				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



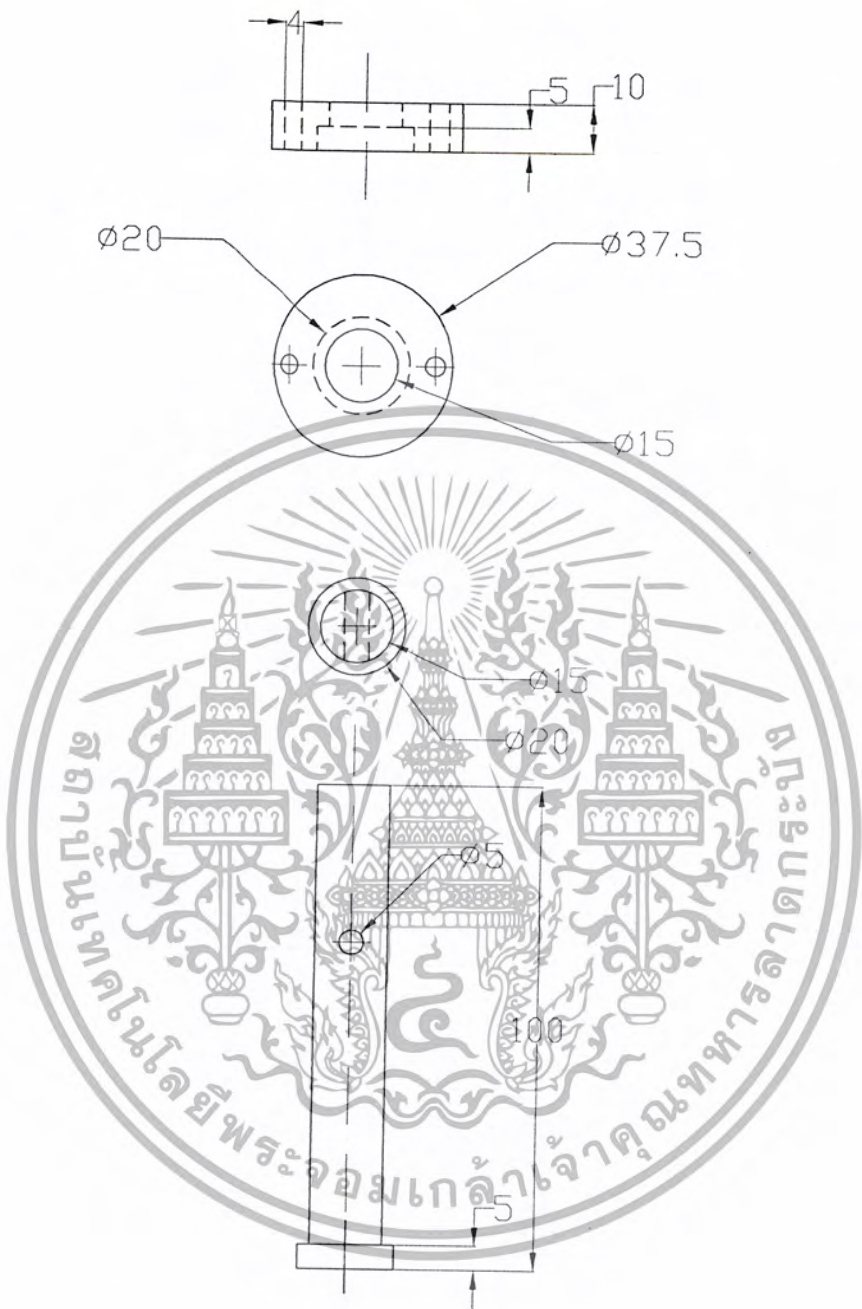
			ผู้เขียน	นายปิณภพ พิทักษ์อรณเพ	KMITL	
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรรณชัย กัลยาศิริ		
			ผู้ออกแบบ	นายชิตติยะ มาลัย		
			ปากกาและตัวกดลิ้มิตสวิตช์			
203	ตัวกดลิ้มิตสวิตช์	S137				
202	ปากกาจับชิ้นงาน	AI				
ชั้นที่	รายการ	วัสดุ			ชื่อชิ้นงาน	200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



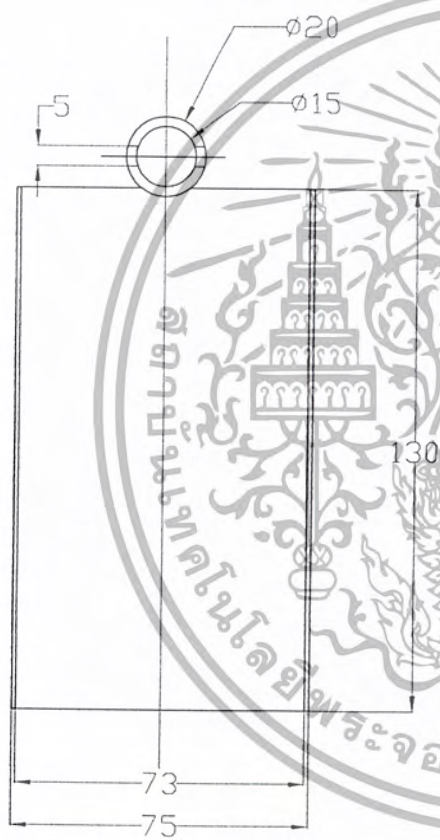
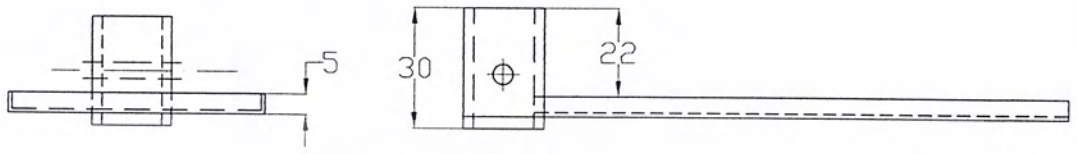
			ผู้เขียน	นายปิ่นภพ พัทธอักษรณพ	KMITL
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรรณชัย กัลยาศิริ	
			ผู้ออกแบบ	นายชุตติยะ มาลัย	
			ภาพประกอบถึงน้ำมัน และชุดรองถึงน้ำมัน		
5	สลัก	305			
4	ถังน้ำมัน	304			
3	ถาดรองถึงน้ำมัน	303			
2	เสา	302			
1	ฐานยึดเสา	301			
ชั้นที่	รายการ	หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน		หมายเลข 300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



			ผู้เขียน	นายปิณฑ พัทธวรณพ	KMITL	
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรณชัย กัลยาศิริ		
			ผู้ออกแบบ	นายชิตติยะ มาลัย		
			ฐานยึดเสาและเสา			
302	ฐานยึดเสา	St37				
301	เสา	S37				
ชั้นที่	รายการ	วัสดุ				
ชื่อชิ้นงาน					300	ON SCALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



			ผู้เขียน	นายปิ่นภพ พัทธษอรอดเพ	KMITL		
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรรณชัย กัลยาศิริ			
			ผู้ออกแบบ	นายชิตติยะ มาลัย			
			ภาตรองถ้งน้ำมัน				
303	ภาตรองถ้งน้ำมัน	S137	ชื่อชิ้นงาน			300	ON SCALE
ชิ้นที่	รายการ	วัสดุ					

เอกสารน้เป็นเอกสารท้สงวนว้ส้าห้ร้บการช้่งงานเพ้อการศึกษาเท่านั้น มอเอนุญาตท้่น้าไปช้่ประยอชน์ด้านการค้า
 ม้ว่ากรณีใดๆ ท้่งส้น อ้กท้่งห้ามมิท้ดดเปล่งเน้อหา และด้องอ้า้งอ้งถ้งเจ้าของเอกสารท้คร้้งท้ม่มีการน้าไปช้่



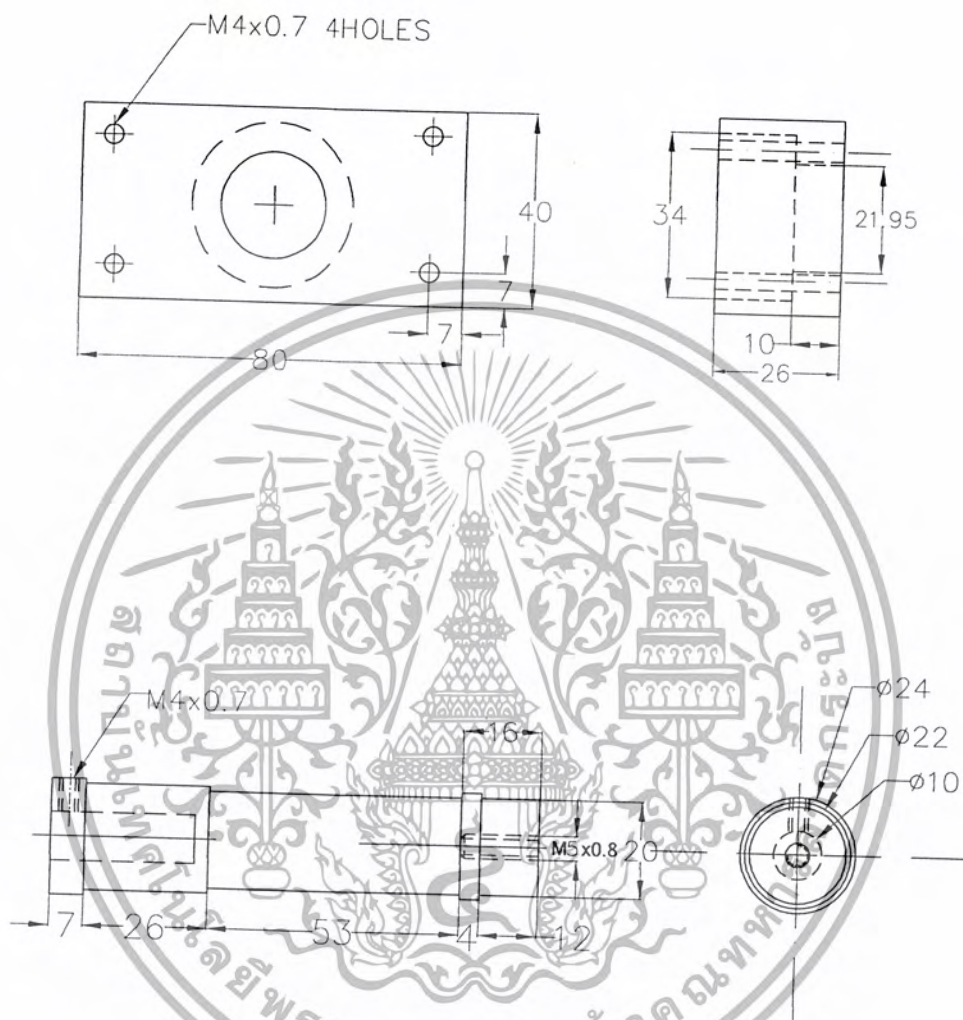
			ผู้เขียน	นายปิ่นภพ พัทธกษอรณพ	KMITL
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรรณชัย กัลยาศิริ	
			ผู้ออกแบบ	นายชิตติยะ มาลัย	
			ถึงน้ำมันและสลัก		
305	สลัก	Si37			
304	ถึงน้ำมัน	Si37			
ขึ้นที่	รายการ	วัสดุ			
นี่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า					
แจ้งว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ลึกทั้งหาวิธีให้ตัดแบ่งลงปัญหา และวิธีแก้ไขดังแจ้งของเอกสารหมายเลข 300					ON SCALE

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



			ผู้เขียน	นายปิณฑ พัทธวรรณ	KMITL
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรณชัย กัลยาศิริ	
			ผู้ออกแบบ	นายชิตติยะ มาลัย	
3	ตัวลอคใบเลื่อย	403	ภาพประกอบเพลลา		
2	แผ่นประกบใบเลื่อย	402			
1	เพลลา	401			
ชั้นที่	รายการ	หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน		400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



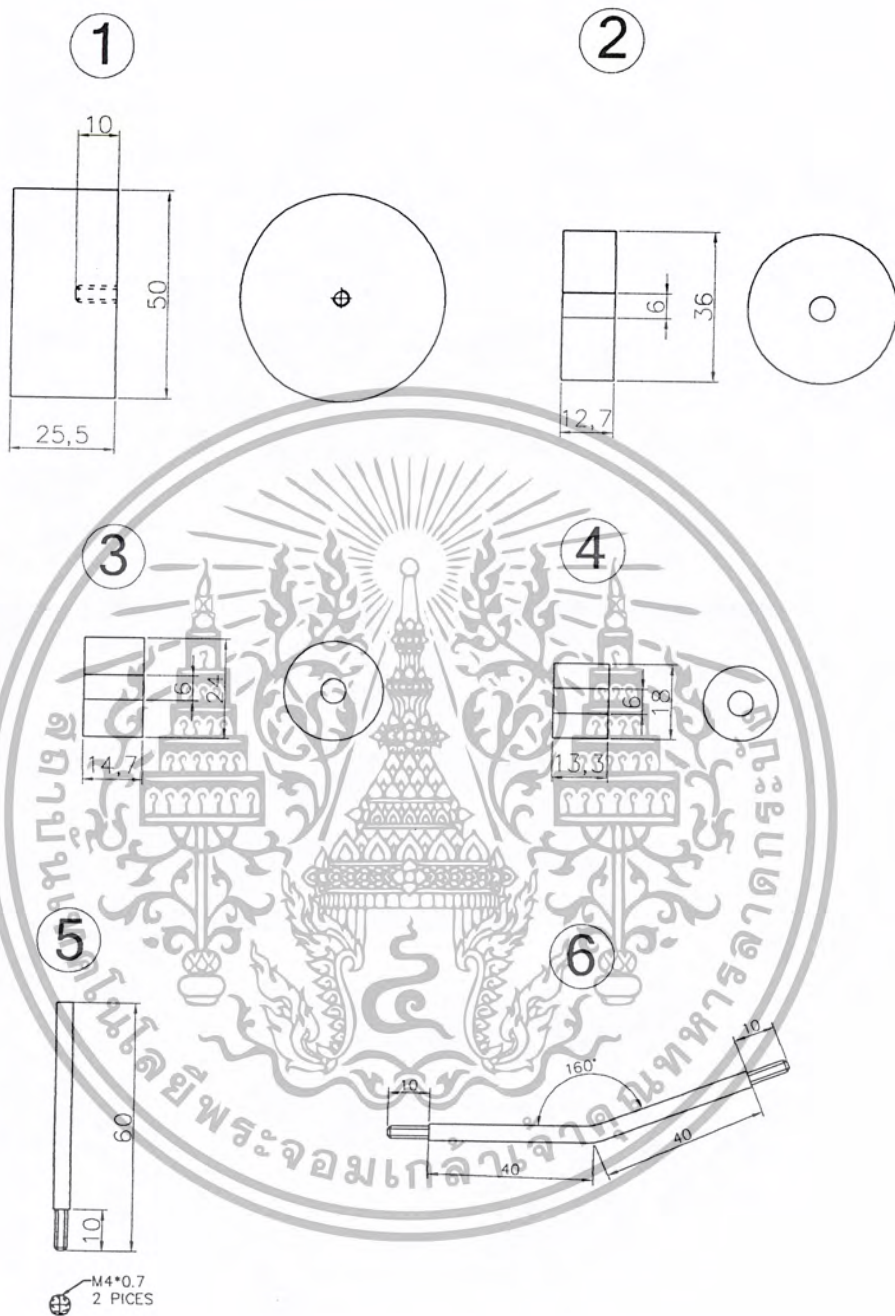
			ผู้เขียน	นายปิ่นภพ พัทธการวรรณเพ	KMITL	
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรรณชัย กัลยาศิริ		
			ผู้ออกแบบ	นายชัตติยะ มาลัย		
			เฟลาและบุช			
401	บุช	St37				
401	เฟลา	St37				
ชิ้นที่	รายการ	วัสดุ	ชื่อชิ้นงาน		400	ON SCALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



			ผู้เขียน	นายปิณฑ พัทธการณพ	KMUTL	
			ผู้ตรวจ	อาจารย์กรณชัย กัลยาศิริ		
			ผู้ออกแบบ	นายชิตติยะ มาลัย		
			แผ่นประกบใบเลื่อย และตัวลอคใบเลื่อย			
403	ตัวลอคใบเลื่อย	St37				
402	แผ่นประกบใบเลื่อย	Al				
ซีเนที	รายการ	วัสดุ				
			ชื่อชิ้นงาน		400	ON SCALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



			ผู้เขียน	นายปิณฑุ พัทธการพร	KMITL	
6	เสาใส่ตุ้มถ่วงท้าย	SI37	ผู้ตรวจ	อาจารย์กรรณชัย กัลยาศิริ		
5	เสาใส่ตุ้มถ่วงหน้า	SI37	ผู้ออกแบบ	นายชิตติยะ มาลัย		
4	น้ำหนัก 25 กรัม	SI37	ชุดตุ้มถ่วงน้ำหนัก			
3	น้ำหนัก 50 กรัม	SI37				
2	น้ำหนัก 100 กรัม	SI37				
1	ตุ้มน้ำหนักถ่วงท้าย	SI37				
ชั้นที่	รายการ	วัสดุ	ชื่อชิ้นงาน		500	ON SCALE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ทวีศักดิ์ เทศเจริญ, กรรมวิธีการผลิต. ครั้งที่ 1, ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2534.
- ทวี อชินรางกูล, เทคโนโลยีการตัดปาดผิว. สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วรวิทย์ อังภากรณ์ และ ชาญ ถนังงาน, การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 10, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่นจำกัด, 2521.
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ, เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์ : ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

