

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน

DESIGN OF ROTATIONAL MOLDING MACHINE



T119485

โดย

นายชรินทร์รัชย์ สุกนธรัตน์

นายชินพัชร เตชานะเกียรติ

นายวรวิทย์ อังคนานนท์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.มณฑล ใจกุศล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....119485
วัน,เดือน,ปี.....- 8 S.ก. 2554

b. 119485
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF ROTATIONAL MOLDING MACHINE

TARINCHAI SUKONTARAT

TANINPAT TECHATANAKEIT

WORRAVUT ANGKANANONT

ADVISOR

ASS.PROF. MONTON JAIKUSON

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน

DESIGN OF ROTATIONAL MOLDING MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นายชรินทร์ชัย สุคนธรัตน์ รหัสประจำตัว 50010665
2. นายชนินพัชร เตชานะเกียรติ รหัสประจำตัว 50011382
3. นายวรวุฒิ อังคณานนท์ รหัสประจำตัว 50011385



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.มณฑล ใจกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน

นายชรินทร์ชัย สุคนธรรัตน์ 50010665
นายชนินพัชร์ เตชานนะเกียรติ 50011382
นายวรวุฒิ อังคนานนท์ 50011385
ผศ.มณฑล ใจกุศล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

เนื่องจากในสภาวะปัจจุบันนี้การใช้ทรัพยากรมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อกระบวนการการผลิตทางด้านอุตสาหกรรม เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่าที่สุด ดังนั้นโครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษา ออกแบบ และพัฒนาเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน เพื่อลดระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูป ทั้งยังเป็นการประหยัดเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตด้วย โดยเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนจะถูกออกแบบให้มีการขึ้นรูปภายในห้องปิด เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน โดยทำการทดลองแปรเปลี่ยนเวลาในการให้ความร้อนเป็น 7, 10, 13 นาที ในห้องเปิด และ 6, 7, 8, 9, 12 นาที ในห้องปิด ซึ่งจากการทดลองจะเห็นว่าพลาสติกนั้นจะมีค่าความแข็งแรงสูงสุดขณะพลาสติกสุกกำลังดี ถ้าเกิดว่าไม่สุกจะมีค่าความเค้นน้อยกว่าที่ควรจะเป็นหรือถ้าสุกมากเกินไปก็จะมีค่าความเค้นน้อยเช่นเดียวกัน โดยเวลาที่ทำให้ชิ้นงานสุกกำลังดีของห้องเปิดและห้องปิดจะอยู่ที่ 10 และ 8 นาที ตามลำดับ ค่าความเค้นสูงสุดที่ได้ของห้องเปิดคือ 17.95 MPa ส่วนค่าความเค้นของห้องปิดที่ได้คือ 20.72 MPa และเมื่อเปรียบเทียบพบว่าการขึ้นรูปแบบห้องปิดสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าการขึ้นรูปแบบห้องเปิด 26.92%

DESIGN OF ROTATIONAL MOLDING MACHINE

Tarinchai	Sukontarat	50010665
-----------	------------	----------

Taninpat	Techatanakeit	50011382
----------	---------------	----------

Worravut	Angkananont	50011385
----------	-------------	----------

Ass.Prof.	Monton Jaikuson,	Advisor
-----------	------------------	---------

ACADEMIC YEAR 2010

Abstract

Nowadays, the use of resources is extremely necessary in the industrial production process. In order to maximize benefit and worthiness by reducing the molding time as well as the economizing fuel used in the production process, therefore this project is aim to study, design, and develop the Rotational Molding Machine. The Rotational Molding Machine will be designed to mold in the adiabatic room in order to prevent heat losing. In the experiment, the variable heating times were 7, 10 and 13 minutes in the opened room and 6, 7, 8, 9, and 12 minutes in the adiabatic room. According to this experiment, plastics were the maximum stress while they were being cooked enough. On the other hand, plastics were taken undercooked or overcooked as a result of a few stress. The well-suited time are 10 and 8 minutes of both the opened room and adiabatic room respectively. The maximum stress of the opened room was 17.95 MPa and the stress of products from the adiabatic room was 20.72 MPa. When compare the molding, the adiabatic room can save energies more than the opened room about 26.92%.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จลงได้ด้วยดี หากไม่ได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนตลอดจนเทคนิคต่างๆ เสมอมาจาก ผศ. มณฑล ใจกุศล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ทางผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบริษัท ไทยโพลีเอทิลีน จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการไปศึกษาดูงาน และให้ความรู้เกี่ยวกับการขึ้นรูปพลาสติกด้วยเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน

ขอขอบคุณ คุณปริญญา พุฒสวัสดิ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้ความสะดวกในการทำงาน ทั้งด้านอุปกรณ์และเครื่องมือเวลาผู้จัดทำติดขัด หรือ ไม่สามารถทำเองได้ ทำให้งานออกมาสำเร็จได้ด้วยดีรวมทั้งขอขอบคุณเพื่อน ๆ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา

นายธนินทร์ชัย สุคนธรัตน์

นายณินพัทธ์ เตชานะเกียรติ์

นายวรวิติ อังคนานนท์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2. ทฤษฎี.....	4
2.1 ประเภทของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน.....	4
2.2 การคำนวณปริมาณผงพลาสติก.....	12
2.3 เตาอบ.....	14
2.4 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน.....	17
2.5 พฤติกรรมของผงพลาสติก.....	18
2.6 มอเตอร์.....	23
2.7 แบริ่ง.....	24
2.8 การออกแบบเพลลา.....	29
2.9 โซลูดกิ้ง.....	34
บทที่ 3. หลักการทำงานและวิธีการทดลอง.....	40
3.1 ขั้นตอนการขึ้นรูปพลาสติก.....	40
3.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องขึ้นรูปพลาสติก.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.3 หลักการทำงานของเครื่องขึ้นรูปพลาสติก.....	44
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	45
3.5 การเขียนแบบเครื่องขึ้นรูปพลาสติก.....	47
บทที่ 4. ผลการทดลอง.....	49
4.1 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานที่ความเร็วต่างๆในห้องเปิด.....	49
4.2 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานที่ในห้องปิด.....	51
4.3 ผลการเปรียบเทียบการขึ้นรูปชิ้นงานระหว่างห้องเปิดและห้องปิด.....	52
4.4 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	53
เอกสารอ้างอิง.....	55
ภาคผนวก.....	56
ภาคผนวก ก. ตารางผลการทดลอง.....	56
ภาคผนวก ข. มาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ.....	61
ภาคผนวก ค. แบบเขียน และขนาดส่วนประกอบต่างๆของชิ้นงาน.....	70
ภาคผนวก ง. การออกแบบและการคำนวณ.....	95

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนพฤติกรรมของผงพลาสติก.....	18
4.1 แสดงความเร็รรอบที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน.....	49



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบ Rock-and-Roll.....	4
2.2 ประเภทของเตาอบ Rocking ของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน.....	5
2.3 แบบเครื่องให้ความร้อนแบบเปลือกหอย.....	6
2.4 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบแนวตั้ง.....	7
2.5 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบพุ่งกลับไปกลับมา.....	8
2.6 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดมี้าหมุน.....	9
2.7 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบแขนเป็นอิสระต่อกัน.....	9
2.8 เครื่องขึ้นรูปแบบหมุนชนิดการให้ความร้อนโดยระบบไฟฟ้า.....	10
2.9 แสดงภาพตัดขวางของแม่พิมพ์.....	11
2.10 ตัวอย่าง โมลรูปทรงกระบอก.....	13
2.11 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังสองชั้น.....	17
2.12 การไหลของผงพลาสติกสามประเภท.....	19
2.13 อุปกรณ์ทดลองแบบแค่นเดียว.....	23
2.14 เครื่องมือสังเกตการไหลของผงพลาสติกที่นอนอยู่ที่ก้น.....	24
2.15 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ LLDPE.....	24
2.16 แสดงพอลิเมอร์แบบกิ่ง.....	25
2.17 โครงสร้างผลึกแบบออสัณฐาน และแบบผลึก.....	25
2.18 กราฟผลของอุณหภูมิต่อความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียดของ พอลิเมทิลเมทาไครเลต.....	25
2.19 ส่วนต่างๆของบอลแบร์ริง.....	27
2.20 เพลายู่ภายใต้แรงต่างๆ.....	35
2.21 ส่วนประกอบของโซ่ลูกกลิ้งสองแถว.....	38
2.22 การขบกันของโซ่ลูกกลิ้งกับงานขับโซ่.....	39
3.1 แสดงขั้นตอนการขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน.....	40
3.2 มอเตอร์ขนาด 60 วัตต์ และ 90วัตต์.....	41
3.3 ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์.....	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 ฐานรองเครื่อง.....	41
3.5 ตัวโครงเครื่อง.....	42
3.6 ชุดแขนหมุน	42
3.7 ห้องปิด	43
3.8 แม่พิมพ์.....	43
3.9 ชุดให้ความร้อน.....	44
3.10 พัดลมที่ใช้cooling.....	44
3.11 ผงพลาสติกชนิด LLDPE.....	44
3.12 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกที่เสร็จสมบูรณ์.....	45
3.13 ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง.....	45
3.14 ตำแหน่งหัวเป่าแก๊สในการทดลอง.....	46
3.15 ตัวอย่างชิ้นงานที่จะทดสอบแรงดึง.....	46
3.16 ชิ้นงานที่ติดตั้งด้วยเครื่องUTM.....	47
3.17 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกที่ออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks.....	47
4.1 ตัวอย่างชิ้นงานที่ไม่สุก.....	50
4.2 ตัวอย่างชิ้นงานสมบูรณ์.....	50
4.3 ตัวอย่างชิ้นงานที่สุกเกินไป.....	50
4.4 กราฟ Boxplot ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและเวลาที่ขึ้นรูปในห้องปิด.....	51
4.5 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืด.....	52
4.6 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและเวลา.....	52
ค.1 แบบประกอบของเครื่องขึ้นรูปพลาสติก.....	71
ค.2 แบบเขียนและขนาดของห้องปิด.....	72
ค.3 แบบเขียนและขนาดของแม่พิมพ์.....	73
ค.4 แบบเขียนและขนาดของฐานเลื่อน.....	74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.5 แบบเขียนและขนาดของเฟืองดอกจอก.....	75
ก.6 แบบเขียนและขนาดของตัวโครง.....	76
ก.7 แบบเขียนและขนาดของBushเพลลา.....	77
ก.8 แบบเขียนและขนาดของBushแม่พิมพ์.....	78
ก.9 แบบเขียนและขนาดของฐานยึดมอเตอร์ 90 W.....	79
ก.10 แบบเขียนและขนาดของฐานยึดมอเตอร์ 60 W.....	80
ก.11 แบบเขียนและขนาดของตัวปรับสมดุลน้ำหนัก.....	81
ก.12 แบบเขียนและขนาดของแหวนล้อเพลลา.....	82
ก.13 แบบเขียนและขนาดของมอเตอร์เกียร์ 90 W.....	83
ก.14 แบบเขียนและขนาดของมอเตอร์เกียร์ 60 W.....	84
ก.15 แบบเขียนและขนาดของเพลลาขับแกน.....	85
ก.16 แบบเขียนและขนาดของเพลลาขับแม่พิมพ์.....	86
ก.17 แบบเขียนและขนาดของเฟืองไซ้ 18 ฟัน.....	87
ก.18 แบบเขียนและขนาดของเฟืองไซ้ 30 ฟัน.....	88
ก.19 แบบเขียนและขนาดของเฟืองไซ้ 48 ฟัน.....	89
ก.20 แบบเขียนและขนาดของหลักถ่วงน้ำหนัก.....	90
ก.21 แบบเขียนและขนาดของแกนหมุน.....	91
ก.22 แบบเขียนและขนาดของเบร้งเพลลาขับแกน.....	92
ก.23 แบบเขียนและขนาดของเบร้งปลอก.....	93
ก.24 แบบเขียนและขนาดของโครงห้องปิด.....	94
ง.1 แรงที่กระทำต่อเพลลาขับแม่พิมพ์.....	96
ง.2 แรงที่กระทำต่อเพลลาขับแกน.....	97
ง.3 แรงที่กระทำต่อเบร้งตัวขับแกนระนาบYZ.....	99
ง.4 แรงที่กระทำต่อเบร้งตัวขับแกนระนาบ XZ.....	100
ง.5 แรงที่กระทำต่อเบร้งตัวขับแม่พิมพ์ระนาบ YZ.....	100

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมการขึ้นรูปพลาสติกได้ขยายตัวอย่างรวดเร็ว หนึ่งในนั้นก็คือ วิธีการขึ้นรูปพลาสติกแบบแม่พิมพ์หมุน ซึ่งอยู่ในรูปแบบที่น่าสนใจสำหรับพัฒนา เนื่องจากเครื่องจักรมีราคาต่ำ ทั้งสถานการณ์พลังงานที่เป็นอยู่ในขณะนี้มีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ ประกอบกับในกระบวนการผลิตทางด้านอุตสาหกรรมนี้ราคาพลังงานถือได้ว่าเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อต้นทุนในการผลิตมากที่สุด

เครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน (Rotomolding หรือ Rotocasting) คือ กระบวนการเพื่อการผลิตสินค้าพลาสติกที่มีลักษณะกลวงหรือเป็น โพร่ง ซึ่งใช้สำหรับสารโพลีไวนิลคลอไรด์ที่เป็นของเหลว แม้จะมีการแข่งขันทางการตลาดสูงมากตั้งแต่วิธีการขึ้นรูปแบบเป่า (Blow Molding), การขึ้นรูปแบบอัด (Thermoforming) และการขึ้นรูปแบบฉีด (Injection Molding) ในการผลิตสินค้าประเภทนี้เครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน มีคุณสมบัติที่โดดเด่นในแง่ของระดับแรงที่ใช้ในเครื่องจักรอยู่ในระดับต่ำ และแม่พิมพ์มีราคาไม่แพง ทั้งยังมีการแข่งขันน้อยสำหรับการผลิตวัสดุที่มีลักษณะกลวงขนาดใหญ่ (มากกว่า 2 m³ ต่อชิ้น) เครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางในการผลิตถังเก็บน้ำ แต่มันยังสามารถนำไปใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์รวมทั้งของเล่นเด็ก เช่น ลูกบอล

ปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกด้วยเครื่องขึ้นรูปชนิดแม่พิมพ์หมุนอยู่ในขั้นที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนา ในรอบ 10 ปีที่ผ่านมาได้เห็นความก้าวหน้าทางเทคนิคที่สำคัญและเครื่องจักรกลประเภทใหม่ๆ แม่พิมพ์ วัสดุที่พร้อมนำมาใช้ อุตสาหกรรมประเภทนี้ดึงดูดความสนใจจากผู้ส่งสินค้าระดับชั้นนำมากมาย และมีผลในการลงทุนที่สำคัญๆ เมื่อเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนสามารถผลิตชิ้นส่วนที่มีคุณภาพสูงในราคาที่แข่งขันกันได้ มหาวิทยาลัยจำนวนมากได้ให้ความสนใจในกระบวนการการผลิตและการอภิปรายทางเทคนิคที่แพร่หลายไปทั่วโลก เพื่อ

ค้นหาแนวทางให้เครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนได้เข้าไปมีบทบาทเทียบเคียงกับวิธีการผลิตชั้นนำอื่นๆ ในการผลิตสินค้าประเภทพลาสติก

ดังนั้น โครงการนี้จึงเป็นการศึกษา ออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน เพื่อลดระยะเวลาและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขึ้นรูป โดยเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนที่ศึกษาและออกแบบนั้นเป็นแบบชนิดหมุนสองแกน (Two Perpendicular axes)

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนแบบชนิดหมุนสองแกน

1.2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการให้ความร้อนกับความต้านแรงดึง (Tensile Strength) ของชิ้นงาน

1.2.3 ศึกษาความแตกต่างของระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นรูประหว่างการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แบบเปิดกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ภายในห้องปิดแล้วจึงนำมาหาค่าการประหยัดเชื้อเพลิง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนแบบชนิดหมุนสองแกน ด้วยวิธีการคำนวณตามหลักการออกแบบเครื่องจักรกล แล้วทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการให้ความร้อนกับความต้านแรงดึงของชิ้นงาน จากนั้นจึงหาค่าการประหยัดเชื้อเพลิงระหว่างการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แบบเปิดกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ภายในห้องปิด

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนแบบชนิดหมุนสองแกน

1.4.2 ออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนแบบชนิดหมุนสองแกน

1.4.3 ทำการทดลองขึ้นรูปพลาสติกแบบห้องเปิดซึ่งมีรูปร่างเป็นรูปทรงกระบอก โดยแปรเปลี่ยนความเร็วรอบต่างๆ กัน ณ ที่เวลาคงที่ 10 นาที

1.4.4 เลือความเร็วรอบที่ขึ้นรูปได้สมบูรณ์มาทดลองขึ้นรูปชิ้นงานแบบห้องเปิดและห้องปิด โดยแปรเปลี่ยนระยะเวลาการให้ความร้อนเป็น 7, 10, 13 นาที ในระบบเปิด และใช้เวลา 6, 9, 12 นาที ในระบบปิดจากนั้นจึงนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบแรงดึง แล้วคำนวณหาค่าความเค้นเพื่อหาค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการให้ความร้อนกับความต้านแรงดึง (Tensile Strength) ของ
ชิ้นงาน

1.4.5 เปรียบเทียบค่าการประหยัดเชื้อเพลิงระหว่างการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แบบเปิดกับการ
ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ภายในห้องปิด

1.4.6 ขึ้นรูปชิ้นงานภายในห้องปิดโดยแปรเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนเป็น 6, 7, 8, 9
และ 12 นาที ตามลำดับ จากนั้นจึงนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการ
ให้ความร้อนกับความเค้นประลัยที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนที่สร้างขึ้นมานั้นเป็นเครื่องขึ้นรูปต้นแบบที่สามารถ
นำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องขึ้นรูปพลาสติกที่ใช้งานจริงในโรงงานอุตสาหกรรมได้

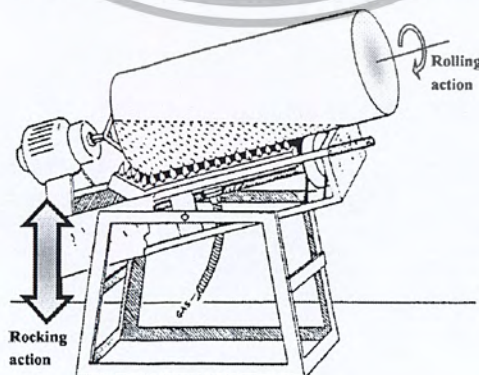


2.1 ประเภทของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน[6]

ชิ้นงานที่สร้างจากการขึ้นรูปแบบหมุนนั้นมีช่วงปริมาตรที่มีขนาดตั้งแต่ 0.05 ลิตร ถึงมากกว่า 10,000 ลิตร โดยลักษณะทั่วไปของเครื่องจักร เป็นเรื่องยากเมื่อมองในแง่มุมมองของกระบวนการไม่ว่าจะเป็นตัวแม่พิมพ์ พลาสติกที่อยู่ในแม่พิมพ์ที่ถูกหมุน การให้ความร้อนและการทำให้เย็นตัว สิ่งเหล่านี้ทั้งหมดต้องการความสะดวกเพื่อนำออกจากแม่พิมพ์และนำผงพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์ใหม่ นอกจากนี้ในขณะที่กำลังนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ กรรมวิธีในการขึ้นรูปจำเป็นต้องมีแต่ไม่ใช่ทุกวิธีการขึ้นรูปจะจำเป็นต้องมีการให้ความร้อนหรือการทำให้เย็นตัว ถ้าของเหลวเกิดปฏิกิริยาไม่ว่าจะเป็นอีพอกซีหรือโพลีเอสเตอร์ชนิดไม่อิ่มตัวที่ถูกใช้ในการนำมาสร้าง โครงสร้างพลาสติกแบบ โครงสร้างเดี่ยวโดยปราศจากการให้ความร้อนจากภายนอกและรูปร่างของชิ้นงานก็ไม่จำเป็นต้องทำการให้ความเย็นด้วย นอกจากนี้กรณีข้างต้น กระบวนการให้ความร้อนที่นาน การให้ความเย็นสามารถทำได้ง่ายเพียงแค่ให้แม่พิมพ์หมุนในอุณหภูมิห้องที่ปกติ

2.1.1 เครื่อง Rock-and-Roll

หลักการของการออกแบบเครื่องแบบ Rocking เกี่ยวกับการทำงานเพียงแนวแกนระดับ (Rock) และอีกแกนจะทำการหมุน 360 องศา เรียกว่า การทำงานแนวแกนหมุน (Roll) เป็นแบบแรกๆ ของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน เครื่องจักรประเภทนี้แสดงให้เห็นในรูปด้านล่าง

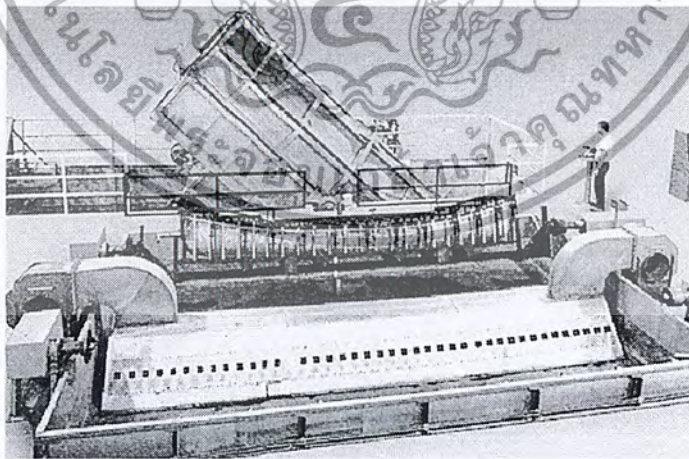


รูปที่ 2.1 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบ Rock-and-Roll

เครื่องดังกล่าวได้รับการยอมรับว่ามันสร้างสามารถให้การหมุนที่ครบ 360 องศาและอีกหนึ่งแกนหมุนตามแนวระดับทำให้หมุนได้ครบ ซึ่งเป็นหลักการการทำงานของเครื่อง Rock-and-Roll สำหรับสมัยแรกๆ เครื่องจักรรูปแบบนี้ถูกคิดว่ามันเป็นแบบที่ดีที่สุดในการสร้างชิ้นงานที่สมมาตร เช่น โคมไฟ เรือใบ ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตามในช่วงปีหลังๆ เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบ Rock-and-Roll ได้รับการสนใจอีกครั้งเพราะมันสามารถออกแบบได้ง่ายและมีข้อดีหลัก คือ ง่ายต่อการนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และสามารถควบคุมความร้อนที่ต้องส่งถ่ายผ่านแม่พิมพ์เข้าสู่พลาสติกได้ดีและเครื่องจักรสามารถหมุนได้สองแกนสามารถทำให้สร้างชิ้นงานได้หลากหลาย

เครื่อง Rock-and-Roll โดยทั่วไป ความเร็วในการหมุนจะอยู่ที่รอบต่ำๆ ประมาณ 4 รอบต่อ นาทีและมุมในการ โยกแกนแนวระดับจะน้อยกว่า 45 องศา การใช้แก๊ซหุงต้มในการให้ความร้อนซึ่งให้ความร้อนโดยตรงที่ผิวแม่พิมพ์ด้านนอก ถ้าหัวเป่าแก๊สถูกติดตั้งที่ก้นของแม่พิมพ์หรือถูกติดตั้งที่ ส่วนบนของแม่พิมพ์ก็เพียงพอที่จะทำให้พลาสติกละลาย การประมาณปริมาณแก๊สที่ให้ออกก็เป็นตัวแปร หนึ่งที่สำคัญในการให้ความร้อนสู่แม่พิมพ์ หัวจ่ายแก๊สจะถูกติดตั้งให้อยู่กับที่ ห่างจากตัวแม่พิมพ์ใน ระดับหนึ่งเพื่อป้องกันแม่พิมพ์ร้อนมากเกินไปที่จุดๆเดียว เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุนจะทำให้ เห็นชิ้นงานได้ง่ายแม้ในกรณีที่ชิ้นงานเป็นทรงกระบอก

ยังมีการให้ความร้อนอีกประเภท คือ การให้ความร้อนแบบเตาอบ โดยให้ความร้อนจากเตาอบ ส่งผ่านอากาศไปที่แม่พิมพ์ รูปเตาทำความร้อนจะแสดงให้เห็นอยู่ในรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.2 ประเภทของเตาอบ Rocking ของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน

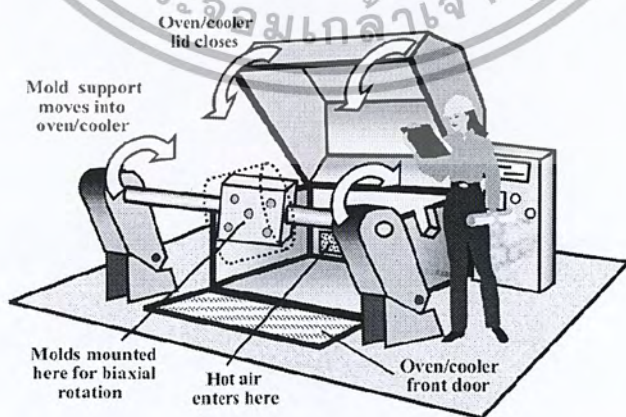
เตาอบต้องประกอบด้วยตัวให้ความร้อนที่เหมาะสม การนำความร้อนและการเป่าอากาศร้อน ไปสู่แม่พิมพ์ ในบางกรณีแม่พิมพ์จะถูกประกอบถูกติดตั้งบนราวยก มันสามารถหมุนได้ภายในห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ความร้อนแล้วมีเนื้อที่ให้ความเย็น ซึ่งบ่อยครั้งที่พื้นที่ให้ความเย็นจะอยู่บริเวณเดียวกับที่ถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ สำหรับเครื่อง Rock-and-Roll ขนาดเล็กห้องให้ความร้อนสามารถปิดคลุมได้หรือยกไปพร้อมกับครนยกแม่พิมพ์ สำหรับเครื่อง Rock-and-Roll ขนาดใหญ่เตาให้ความร้อนต้องอยู่กับที่และแม่พิมพ์ขยับภายในห้องให้ความร้อน โดยในเชิงพาณิชย์จะมีผู้ที่สร้างเครื่อง Rock-and-Roll แต่ส่วนมากเครื่อง Rock-and-Roll จะถูกสร้างใช้กันเองมากกว่า

2.1.2 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบเปลือกหอย

เครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดนี้มีรูปร่างเป็นแบบมีเตาความร้อนครอบด้านบนคล้ายๆเปลือกหอย ดังรูปด้านล่าง เครื่องจักรนี้ต้องยึดติดกับพื้น เครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดเปลือกหอยนี้จะให้การหมุนสองแกน ข้อดีคือ เพลสามารถได้รับการรองรับจากฐานได้ทั้งสองด้านแม่พิมพ์จะถูกติดตั้งประกอบอยู่บนเกียร์กลมๆผ่านแกนเพลลา หลักการทำงานเมื่อต้องการให้ความร้อนหรือความเย็นแขนจะพับเข้าไปด้านในฝาแล้วให้ความร้อนฝาก็จะครอบลงมาและแม่พิมพ์ก็หมุนถูกโยกคล้ายชิงช้าสวรรค์ โดยแผ่นเกียร์กลมอากาศร้อนจะถูกเป่าไปสู่แม่พิมพ์จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ทำให้ผงพลาสติกละลาย หลังจากนั้นก็จะทำการทำให้แม่พิมพ์เย็นโดยอากาศหรือไอน้ำ หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการทำให้เย็นตัวแล้วก็เปิดฝาครอบแล้วเปิดฝาแม่พิมพ์เอาชิ้นงานออกมา จากนั้นจึงทำความสะอาดแม่พิมพ์ตรวจสอบ แล้วทำการเติมผงพลาสติกอีกครั้ง ในบางกรอก ออกแบบของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบเปลือกหอยนี้แม่พิมพ์สามารถนำออกจากฝาครอบให้ความร้อนได้หลังจากจบการให้ความร้อนและสามารถให้ความเย็นจากด้านนอกได้ นั่นคือฝาครอบต้องยกขึ้นได้เพื่อให้สามารถเปลี่ยนแม่พิมพ์หรือการให้ความเย็นและนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้

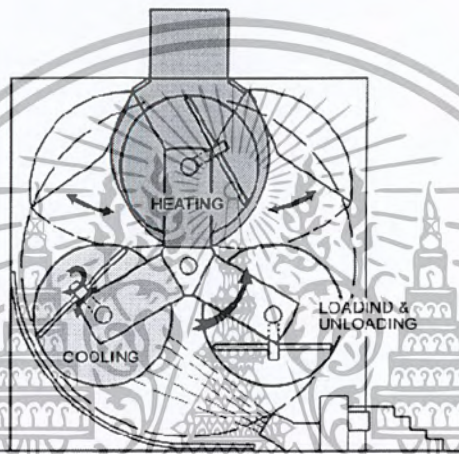


รูปที่ 2.3 แบบเครื่องให้ความร้อนแบบเปลือกหอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบแนวตั้ง

เป็นประเภทเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบใหม่ชนิดหนึ่งมีศูนย์กลางการหมุนตามแนวระดับและแม่พิมพ์อยู่ที่แขนของเครื่องจักร ดังรูปที่แสดงด้านล่าง ในการสร้างเครื่องจักรชนิดนี้ควรให้แขนแต่ละข้างอยู่ห่างกัน 120 องศา ดังนั้นแขนจะถูกเคลื่อนที่ไปในบริเวณให้ความร้อน บริเวณทำให้เย็นและบริเวณถอดชิ้นงาน ข้อดีของเครื่องชนิดนี้คือ จะสามารถทำให้สร้างชิ้นงาน ได้จำนวนมาก ซึ่งข้อควรระวังคือต้องคำนวณเนื้อที่ในการหมุนแขนด้วยและเหตุผลที่สามารถทำให้สร้างชิ้นงาน ได้จำนวนมาก เนื่องจากสามารถทำงาน ได้อย่างต่อเนื่อง



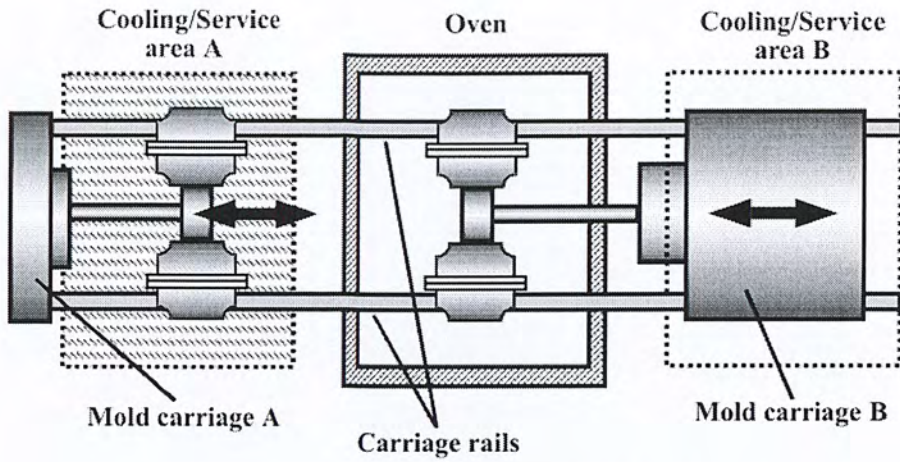
รูปที่ 2.4 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบแนวตั้ง

2.1.4 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบพุ่งกลับ ไปกลับมา

เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบพุ่งกลับ ไปกลับมา ถูกพัฒนาให้ใช้ในห้องที่มีพื้นที่น้อยเครื่องจักรประเภทนี้มีหลายชนิดหนึ่งในนั้นจะถูกนำมากล่าวในที่นี้ แม่พิมพ์จะถูกประกอบและติดตั้งอยู่บนราวที่ถูกเคลื่อนที่เข้าและออกระหว่างห้องทำความเย็น ห้องนำชิ้นงานออกกับห้องให้ความร้อน ดังรูปด้านล่าง ประสิทธิภาพของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบพุ่งกลับ ไปกลับมาถูกพัฒนาโดยใช้ 2 แคร่ยก รูปแบบการทำงาน คือ มีแขนข้างหนึ่งอยู่ในห้องให้ความร้อน แล้วอีกข้างอยู่ที่ห้องทำความเย็น ห้องถอดชิ้นงาน ถ้าเวลาของการให้ความเย็น เอาชิ้นงานออกเท่ากับเวลาของการให้ความร้อนจะทำให้สามารถทำชิ้นงาน ได้เร็วที่สุด หัวใจสำคัญที่จะทำให้เครื่องจักรชนิดนี้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานคือ ต้องป้องกันเครื่องจักรจากความร้อนที่สูงและป้องกันการกัดกร่อนของการใช้น้ำหล่อเย็น เวลาในห้องทำความร้อนขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ปฏิบัติงานเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดนี้ค่อนข้างอเนกประสงค์กว่า

เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบแขนยึดมาหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

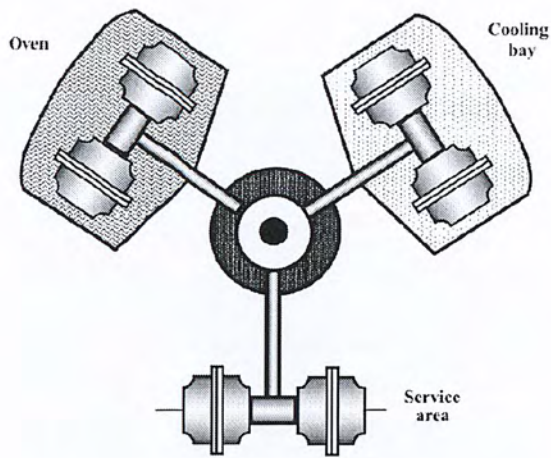


รูปที่ 2.5 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบพุ่งกลับไปกลับมา

2.1.5 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบม้วนหมุน

เครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดม้วนหมุนนี้ถูกพัฒนาสำหรับการทำงานนานๆ ในชิ้นงานขนาดกลางถึงใหญ่ นี่เป็นเครื่องจักรพื้นฐานที่อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ที่ใช้กัน เครื่องจักรชนิดนี้จะมี 3 แขน ซึ่งแต่ละแขนจะห่างกัน 120 องศา โดยถูกขับจากฐานตัวเดียวกัน แขนทุกแขนจะหมุนไปพร้อมกันบนแกนที่ตั้งอยู่กับที่ แขนทุกแขนต้องอยู่ในทุกห้องไม่ว่าจะเป็นห้องให้ความร้อน ห้องให้ความเย็นและห้องถอดชิ้นงาน ซึ่งรูปของเครื่องจักรชนิดนี้จะแสดงให้เห็นจากรูปเห็นล่าง เครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดม้วนหมุนนี้มีข้อดี คือ สามารถทำชิ้นงานในแม่พิมพ์ที่แตกต่างกันได้ในแต่ละแขนและบางครั้งอาจจะเป็นคนละวัสดุ ยังมีความเป็นไปได้ที่จะมีโอกาสผสมแม่พิมพ์ในแขนข้างเดียวหรือแขนข้างอื่นๆ ดังนั้นเครื่องจักรชนิดนี้จึงมีความอเนกประสงค์มากในการสร้างชิ้นงาน ข้อเสียของเครื่องจักรชนิดนี้ คือ ในแต่ละกระบวนการต้องทำให้ลงตัวกันเนื่องจากว่าแขนแต่ละข้างจะต้องหมุนไปพร้อมๆ กัน ถ้าข้างหนึ่งหยุดอีกสองข้างต้องหยุดด้วย ถ้าไม่สมดุลกันจะทำให้เสียเวลาในการรอกระบวนการอื่นๆ ข้อเสียนี้จึงทำให้มีการพัฒนาเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุนแบบแขนเป็นอิสระต่อกัน

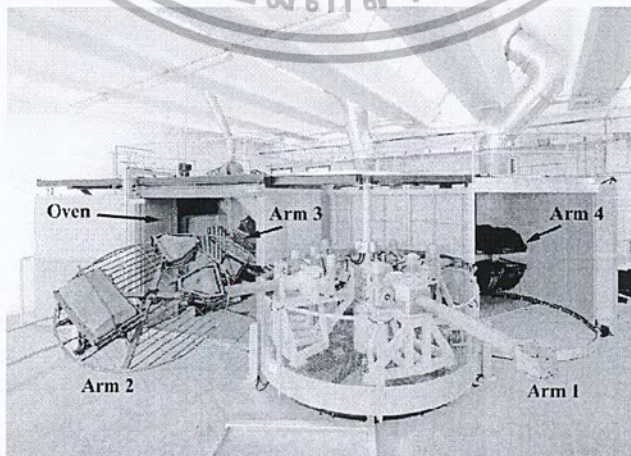
เครื่องจักรชนิดนี้สามารถทำ 4 แขนก็ได้ โดยแต่ละแขนจะห่างกัน 90 องศา โดยทั่วไปแขนข้างที่ 4 จะอยู่ในบริเวณที่ทำความเย็น โดยแขนข้างอื่นๆจะอยู่ในบริเวณทำความร้อน ทำความเย็นและถอดชิ้นงาน เครื่องจักรแบบ 4 แขนนี้จะนิยมเมื่อกระบวนการถูกควบคุมโดยวัฏจักรทำความเย็น



รูปที่ 2.6 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดมี้าหมุน

2.1.6 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบแขนเป็นอิสระต่อกัน

ในสมัยนี้เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบแขนเป็นอิสระต่อกัน ถูกพัฒนาเพื่อที่จะให้เครื่องจักรมีความอเนกประสงค์มากขึ้น เครื่องจักรในปัจจุบันมีการออกแบบ 5 บริเวณและสามารถ มี 2, 3, 4 แขน แต่ต้องให้สมดุลกันและต้องเป็นอิสระต่อกัน หลักสำคัญที่ทำให้เครื่องจักรชนิดนี้มีความอเนกประสงค์มากเนื่องจากที่มีแขนหลายๆ แขนมากกว่าห้อง ทำให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถออกแบบว่าจะให้กระบวนการไหนว่าง เช่น เพิ่มบริเวณทำความร้อนหรือเพิ่มบริเวณทำความเย็นหรือเพิ่มบริเวณถอดชิ้นงานซึ่งเครื่องจักรชนิดนี้แสดงให้เห็นจากรูปด้านล่าง ซึ่งรูปด้านล่างได้แสดงให้เห็นการจัดแขนต่างๆ ในรูปด้านล่างจะเป็นเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุนชนิดแขนเป็นอิสระต่อกัน โดยมีการเสริมบริเวณทำความเย็นถึงแม้ว่าเครื่องจักรชนิดนี้จะแพงมากกว่าเครื่องจักรอื่นๆ ที่อธิบายมาข้างต้น แต่มันก็เป็นหนึ่งในตัวเลือกสำหรับลูกค้าและตลาดการขายเครื่องจักร



รูปที่ 2.7 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบแขนเป็นอิสระต่อกัน

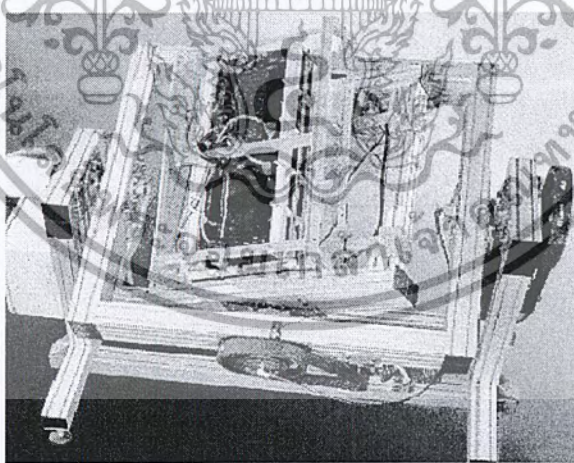
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุนแบบเสื่อน้ำมัน

การให้ความร้อน โดยตรงผ่านของเหลวซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการให้ความร้อนผ่านอากาศ ในเตาให้ความร้อน จึงไม่ใช่เรื่องแปลกที่จะให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ผ่านของเหลวที่ถูกติดตั้งอยู่รอบๆ แม่พิมพ์ซึ่งแม่พิมพ์ถูกพยายามและนำมาใช้ประกอบกับอุปกรณ์ชนิดนี้ในกรณีพิเศษ โดยพื้นฐานวัสดุที่ใช้ในการผ่านความร้อนจะโดนความร้อนที่สูง เช่น ในการขึ้นรูปโพลีคาร์บอเนต แม่พิมพ์ต้องทนอุณหภูมิได้มากกว่า 300 องศาเซลเซียสและเสื่อน้ำมันที่นำมาประกอบกับแม่พิมพ์พบว่ามีความเหมาะสมกับวัสดุชนิดนี้ ข้อเสียของเครื่องจักรชนิดนี้ คือ ในแต่ละระบบจะยากมากที่จะไม่มีน้ำมันรั่ว เมื่อน้ำมันรั่วจะเกิดควันซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ และพลาสติกสามารถถูกปนเปื้อนได้ จากปัญหาที่เกิดขึ้น จึงมีการใช้เกลือเป็นตัวนำความร้อน แต่ไม่ว่าอย่างไรก็ตามก็ไม่ค่อยมีคนนิยมใช้เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบนี้มากนัก

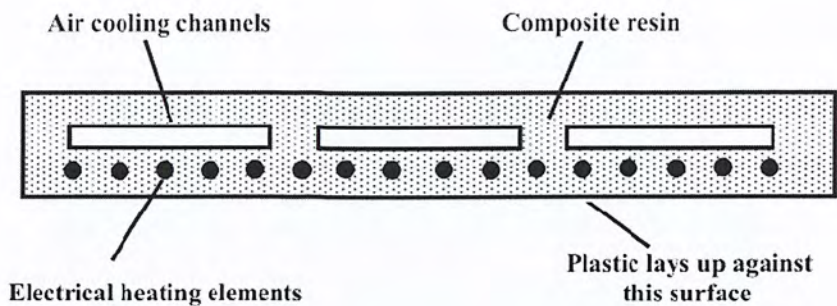
2.1.8 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบการให้ความร้อนโดยระบบไฟฟ้า

หนึ่งในนวัตกรรมใหม่ของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุนที่จะมีในเร็ว ๆ นี้จะเป็นระบบการให้ความร้อนโดยระบบไฟฟ้า ซึ่งระบบการให้ความร้อนแบบนี้ คือ การนำลวดฝังในแม่พิมพ์ซึ่งแม่พิมพ์ต้องไม่ใช่โลหะ เครื่องจักรชนิดนี้จะแสดงให้ดูในรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.8 เครื่องขึ้นรูปแบบหมุนชนิดการให้ความร้อนโดยระบบไฟฟ้า

การหมุนหมุนได้สองแกน และตัวจ่ายไฟฟ้าให้ความร้อนไปที่แหวนสลิปในจุดหมุน การทำความเย็นให้โดยการเป่าลมผ่านช่องในแม่พิมพ์ ซึ่งจะแสดงให้เห็นจากรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.9 แสดงภาพตัดขวางของแม่พิมพ์

หลักการหลักของเครื่องจักรชนิดนี้มีข้อดี คือ การให้ความร้อนผ่านแม่พิมพ์โดยตรงดังนั้นมันจึงมีประสิทธิภาพสูงมาก 80% ของพลังงานถูกนำเข้ามาในระบบเพื่อใช้หลอมพลาสติก เปรียบเทียบกับแบบอื่น อากาศร้อนประมาณ 10-40% เพราะเครื่องจักรชนิดนี้ไม่ต้องใช้เตาให้ความร้อนมันจึงใช้งานสะดวกต่อการเข้าถึงแม่พิมพ์และอุปกรณ์การเอาชิ้นงานออก และอื่นๆ ข้อเสีย คือ แม่พิมพ์จะออกแบบได้ยากและเวลาในการทำงานแต่ละระบบจะนาน ไม่ว่าจะการให้ความร้อน การทำให้เย็น การถอดแม่พิมพ์ ใช้สถานที่ต่อเนื่องกันมากกว่าในแบบขนาน แบบพุ่งกลับ ไปกลับมาหรือแบบหมุน วัสดุที่ใช้ในการยกแม่พิมพ์ต้องเป็นวัสดุคอมโพสิตของเทอร์โมเซตติงกับสารเติมแต่ง สร้างเพิ่มคุณสมบัติเพื่อช่วยให้แม่พิมพ์แข็งแรงขึ้น นำความร้อนและอื่นๆ

2.1.9 เครื่องจักรประเภทอื่นๆของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน

เครื่องจักรประเภทอื่นๆของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน ก็จะมีที่เปลี่ยนแปลงการให้ความร้อนเป็นรูปแบบอื่นๆ เช่น ใช้คลื่นไมโครเวฟในการทำให้พลาสติกละลาย การให้ความร้อนจากการเหนี่ยวนำไฟฟ้าและรังสีอินฟราเรด ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวกำลังถูกพัฒนา แต่มันไม่กว้างขวางในการใช้งานเชิงพาณิชย์ เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบรังสีอินฟราเรดถูกแสดงว่าเป็นเครื่องที่ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงมาก ในเครื่อง Rock-and-Roll ปัญหาของเครื่องจักรชนิดนี้คือ ยากมากที่จะให้ความร้อนอย่างคงรูป ในทุกบริเวณต่างๆกันของแม่พิมพ์ ถ้าแม่พิมพ์มีความหนาของแม่พิมพ์ไม่เท่ากัน ซึ่งส่วนใหญ่แม่พิมพ์จะเป็นแบบนี้ จะทำให้ผิวของแม่พิมพ์มีผลต่อการให้ความร้อนจากการใช้ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ตัวอย่างในหลายๆ กรณี การให้รังสีอินฟราเรด การประมาณค่าแหล่งจ่ายความร้อนไปที่แม่พิมพ์ที่มีผลต่ออุณหภูมิ ไม่ว่าจะเป็ฝาปิดแขน ล็อคแม่พิมพ์ แขนเครื่องจักรและอื่นๆ ต่างมีผลทำให้ความร้อนจากอินฟราเรดไปที่แม่พิมพ์ลดลงและไม่เท่ากัน

ตัวอย่างของแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ทำจากโลหะ ตัวอย่างเช่น แม่พิมพ์ที่ทำจากพลาสติกเสริมใยแก้ว ถูกใช้สำหรับเป็นงานต้นแบบและแบบที่ต้องการขนาดโดยละเอียด แม่พิมพ์ประเภทนี้จะถูกให้ความร้อนในเตาเหมือนแม่พิมพ์เหล็ก มีข้อดีคือ ใช้เวลาในการทำแม่พิมพ์น้อย สำหรับแบบที่สามารถคัดลอกได้ ข้อเสียคือ พลาสติกเสริมใยแก้วนำความร้อนได้ต่ำและเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้แม่พิมพ์แตก

2.2 การคำนวณปริมาณเม็ดพลาสติก[6]

รากฐานของการผลิตชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปโดยใช้กระบวนการการขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนจะมีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องกันระหว่างจำนวนเม็ดพลาสติกที่ใส่ลงไปกับความหนาของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ในบางกรณีน้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะถูกกำหนดไว้เพื่อให้เกิดการแข่งขันกัน ในเชิงเศรษฐกิจได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องคำนวณความหนาของผลิตภัณฑ์อย่างรอบคอบและมีความละเอียดถี่ถ้วนเพื่อที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีความคงทนตลอดจนมีความเหมาะสมกับการใช้งานตามต้องการได้ ในอีกกรณีหนึ่งก็คือความหนาของชิ้นงานผลิตภัณฑ์สุดท้ายถูกกำหนดไว้อย่างตายตัวแน่นอน อาจจะใช้วิธีการสร้างแบบจำลองขึ้นมาหรือด้วยวิธีการใดก็ตาม ปริมาณเม็ดพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับความหนาของผลิตภัณฑ์ตามต้องการจึงต้องจัดเตรียมไว้สำหรับความหนาโดยเฉพาะ ถ้าหากแม่พิมพ์ที่ต้องการถูกออกแบบด้วยวิธีการทางคอมพิวเตอร์หรือ CAD System หรือออกแบบโดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติหรือเครื่อง CNC ปริมาณพื้นที่ของแม่พิมพ์ที่ถูกออกแบบไว้จะถูกคำนวณออกมาโดยอัตโนมัติซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการคำนวณหาปริมาณเม็ดพลาสติกที่ต้องใช้ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

ถ้าหากผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมีลักษณะรูปร่างที่ซับซ้อนหรือมีผิวที่ขรุขระจะทำให้ยากต่อการคำนวณปริมาณเม็ดพลาสติกที่ต้องการใช้ ดังนั้นกระบวนการการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนจึงจะต้องใช้ประสบการณ์หรือการลองผิดลองถูกเพื่อให้ทราบปริมาณเม็ดพลาสติกที่ต้องการใช้เพื่อให้ได้ความหนาของผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ แต่วิธีการนี้จะใช้เวลานานมากและยังทำให้เกิดความสิ้นเปลืองเม็ดพลาสติกด้วย

2.2.1 วิธีการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังที่ได้ทราบกันคืออยู่แล้วว่ากรรมวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนนี้เป็นกระบวนการที่จะไม่มีส่วนที่เสียหรือส่วนที่เหลือของเม็ดพลาสติกเลย หลังจากขึ้นรูปจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายตามที่ต้องการ เนื่องจากเม็ดพลาสติกที่ใช้ในการขึ้นรูปนั้นจะหลอมละลายและเย็นตัวลงอยู่ภายในแม่พิมพ์ที่ออกแบบไว้

เพื่อให้ได้ปริมาณเม็ดพลาสติกที่ต้องการใช้งานให้มีความสอดคล้องกับความหนาของผลิตภัณฑ์สุดท้ายตามที่ต้องการ มีความจำเป็นที่จะต้องทราบปริมาตรของผลิตภัณฑ์สุดท้ายคูณด้วยความหนาแน่นของเม็ดพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการการขึ้นรูป ซึ่งปริมาตรของผลิตภัณฑ์สุดท้ายคำนวณได้จากปริมาตรอากาศภายในแม่พิมพ์ที่ได้ออกแบบไว้ ตัวอย่างเช่น แม่พิมพ์รูปทรงทรงกระบอก ซึ่งจะสามารถคำนวณหาน้ำหนักของพลาสติกได้ดังสมการต่อไปนี้

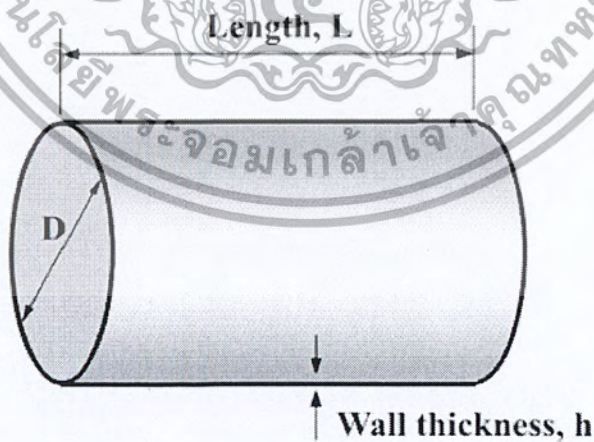
$$W = \rho \left[\frac{\pi D^2}{4} L - \frac{\pi(D-2h)^2}{4} (L - 2h) \right] \quad (2.1)$$

โดย D คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง

L คือ ความยาวของทรงกระบอก

h คือ ความหนาของทรงกระบอก

ρ คือ ความหนาแน่นของเม็ดพลาสติก



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างโมลรูปทรงกระบอก

หรือสามารถคำนวณน้ำหนักของเม็ดพลาสติกได้จากสมการดังต่อไปนี้

น้ำหนักเม็ดพลาสติก = พื้นที่ผิวของแม่พิมพ์ x ความหนาของแม่พิมพ์ x ความหนาแน่นของเม็ดพลาสติก

ซึ่งสมการดังกล่าวนี้สามารถที่จะใช้งานได้กับรูปร่างของผลิตภัณฑ์ทุกรูปร่างซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์

2.3 เตาอบ[6]

จุดประสงค์แรกและจุดประสงค์หลักของการใช้เตาอบในกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนนี้ คือ การทำให้อุณหภูมิที่ถ่ายเทผ่านแม่พิมพ์เข้าไปสู่ผงพลาสติกจนหลอมละลายนั้นมีค่าสูงขึ้นจนถึงจุดหลอมละลายของผงพลาสติกอย่างรวดเร็ว โดยลักษณะของการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนผ่านแม่พิมพ์เพื่อทำให้ผงพลาสติกหลอมละลายนั้นมีอยู่ 3 ลักษณะดังต่อไปนี้

1. การนำความร้อน (Conduction) เป็นการถ่ายเทความร้อนในลักษณะของการแลกเปลี่ยนพลังงานจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยการเคลื่อนที่แบบจลน์ โดยเป็นการถ่ายเทความร้อนจากผิวด้านนอกของแม่พิมพ์ผ่านแม่พิมพ์ไปยังผิวด้านในของแม่พิมพ์ซึ่งบรรจุผงพลาสติกที่จะใช้ในกรขึ้นรูปเอาไว้

2. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) คือ พลังงานที่ถูกส่งออกไปโดยสารซึ่งอยู่ที่อุณหภูมิที่จำกัดแน่นอน พลังงานของสนามการแผ่รังสีนั้นจะถูกนำออกไปโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือที่เรียกอีกอย่างว่า โฟตอน ซึ่งในกระบวนการการขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนจะไม่มีการใช้หลักการดังกล่าวเลย

3. การพาความร้อน (Convection) คือ การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและผิวของของแข็งซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่สัมผัสกับผิวของของแข็ง ถ้าการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดขึ้นโดยการทำขึ้นเอง โดยใช้ปั๊มหรือพัดลมเป็นตัวทำให้เกิดแรงกระทำของไหลไหลผ่านบนพื้นผิว เรียกว่า การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection) ถ้าการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดจากแรงลอยตัว ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในของไหล เรียกว่า การพาความร้อนแบบอิสระ หรือ การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural Convection) ซึ่งในกระบวนการการขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนนี้มีอยู่หลายขั้นตอนที่ใช้กระบวนการการพาความร้อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการให้ความร้อนแก่โมลเพื่อทำให้เกิดการ

นำความร้อนผ่านโมลไปยังผงพลาสติกทำให้ผงพลาสติกหลอมละลายและกระบวนการหล่อเย็นของผลิตภัณฑ์หลังกระบวนการให้ความร้อนเสร็จสิ้นลง

การคำนวณการถ่ายเทความร้อนสามารถหาได้จากสมการพลังค์ความร้อน ดังต่อไปนี้

$$q = h_{convection} (T_{heating} - T_{mold}) \quad (2.2)$$

โดย $h_{convection}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนซึ่งสามารถดูได้จากตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในภาคผนวก

การถ่ายเทความร้อนจะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นหากของไหลไหลไปสัมผัสกับผิวของแข็งได้ดีขึ้น

การเผาไหม้ของก๊าซธรรมชาติที่ผสมกับอากาศจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้มีอุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส (1,291 องศาฟาเรนไฮต์) บางครั้งอาจสูงถึง 800 องศาเซลเซียส (1,472 องศาฟาเรนไฮต์) การให้ความร้อนแบบจ่อเปลวไฟตรงเข้าไปที่แม่พิมพ์หรือการเผาแม่พิมพ์สามารถกระทำได้ที่หากแม่พิมพ์มาจากโลหะที่ผสมคาร์บอนหรือสแตนเลสสตีล หรือวัสดุใดๆก็ได้ที่เมื่อใช้แล้วไม่ทำให้อุณหภูมิ(ความร้อน)ที่ใช้ในการเผาไหม้ส่งผลให้คุณสมบัติของผงพลาสติกที่ใช้เกิดความเปลี่ยนแปลง หากมีการใช้แม่พิมพ์อะลูมิเนียม หรือผงพลาสติกที่ใช้ในกระบวนการการขึ้นรูปมีความไวต่อความร้อนที่ให้แก่โมลสูงหรือด้วยเหตุผลใดๆก็ตามก็ไม่ควรที่จะให้เปลวไฟปะทะกับผิวแม่พิมพ์โดยตรง หากมีการพาความร้อนแบบบังคับหรืออากาศภายในเตาอบมีความเร็วในการไหลเวียนสูงจะยิ่งทำให้การถ่ายเทความร้อนมีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น โดยทั่วไปแล้วอากาศภายในเตาอบหรืออากาศที่ไหลอยู่รอบๆโมลควรที่จะมีความเร็วประมาณ 1.5 เมตร/วินาที (5 ฟุต/วินาที) เพื่อที่จะให้โมลได้รับความร้อนอย่างเพียงพอ

2.3.1 การถ่ายเทความร้อนภายในเตาอบ

ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุนนั้นมีความซับซ้อนอันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆมากมายแต่ก็สามารถคำนวณออกมาได้ด้วยสมการพื้นฐานดังต่อไปนี้

$$\text{อัตราการถ่ายเทความร้อนแบบสม่ำเสมอ} \quad Q = UA\Delta T \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิรวมที่ผิวของวัสดุ

A คือ ปริมาณพื้นที่ที่เกิดการถ่ายเทความร้อน

U คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมด

เพื่อความสะดวกรวดเร็วอัตราการถ่ายเทความร้อนสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเทอมความต้านทานความร้อนได้โดย

$$R = \frac{1}{UA} \quad (2.4)$$

ซึ่งจะมีความแตกต่างกันสำหรับการถ่ายเทความร้อนในแต่ละวิธีดังนี้

การนำความร้อน

$$R_d = \frac{d}{KA} \quad (2.5)$$

โดย d คือ ความหนาของวัสดุ

K คือ ค่าการนำความร้อนของวัสดุ

การพาความร้อน

$$R_v = \frac{1}{hA} \quad (2.6)$$

โดย h คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

การแผ่รังสีความร้อน

$$R_R = \frac{1}{h_r A} \quad (2.7)$$

โดย h_r คือ ค่าประสิทธิผลของการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งหาจากสมการ

$$h_r = \frac{1}{\varepsilon \sigma A T^3} \quad (2.8)$$

โดย ε คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี

σ คือ ค่าคงที่ของสตีเฟน โบลซ์แมน $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}$

A คือ พื้นที่ของการแผ่รังสี

T คือ อุณหภูมิ

วงจรความต้านทานความร้อนสามารถใช้ได้ดีสำหรับการถ่ายเทความร้อนที่มีความซับซ้อน เช่น ผนังหลายชั้น ดังรูปที่ 4.14 ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนในหนึ่งมิติของระบบนี้ เขียนได้เป็น

$$Q = \frac{T_1 - T_5}{R_h + R_a + R_b + R_c} \quad (2.9)$$

$$Q = \frac{T_1 - T_5}{(1/h_h A) + (d_a/K_a A) + (d_b/K_b A) + (1/h_c A)} \quad (2.10)$$

หรืออาจหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้จากการคำนวณในแต่ละช่วงก็ได้ ดังนี้

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{(1/h_h A)} = \frac{T_2 - T_3}{(d_a/K_a A)} = \frac{T_3 - T_4}{(d_b/K_b A)} = \frac{T_4 - T_5}{(1/h_c A)} \quad (2.11)$$

ตัวอย่างที่กล่าวมาในข้างต้นนี้เป็นการพิจารณาผนังเรียบของวัสดุหลายชั้นที่มีการต่อกันแบบอนุกรม แต่ในความเป็นจริงแล้วผนังหลายชั้นก็อาจมีคุณลักษณะตามรูปร่างเป็นแบบขนานด้วยก็ได้ ซึ่งวิธีการคำนวณก็คล้ายกับกรคำนวณความต้านทานวงจรไฟฟ้าแบบขนานนั่นเอง



รูปที่ 2.11 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังสองชั้น

2.4 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน[6]

ข้อดีของการขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน

1. ชิ้นงานกลวงสามารถสร้างขึ้นในครั้งเดียวโดยไม่มีรอยเชื่อม
2. ชิ้นงานปราศจากความเค้นตกค้าง
3. แม่พิมพ์มีราคาไม่แพง
4. สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่ซับซ้อนได้

5. ขั้นตอนการผลิตไม่ซับซ้อน
6. ไม่มีพลาสติกเหลือทิ้งจากการขึ้นรูป
7. สามารถสร้างชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นแบบ Multilayer
8. สามารถขึ้นรูปชิ้นงานหลายชั้นได้ภายในเครื่องจักรตัวเดียวกัน
9. ง่ายต่อการนำผลิตภัณฑ์เข้าออกจากเครื่อง
ข้อเสียของการขึ้นรูปพลาสติกชนิดแม่พิมพ์หมุน

 1. การขึ้นรูปใช้เวลานาน
 2. ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปมีจำกัด
 3. ต้นทุนของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปจะสูง หากต้องการวัสดุชนิดพิเศษ
 4. ยากต่อการขึ้นรูปในบางรูปร่าง

2.5 พฤติกรรมของผงพลาสติก[6]

ก่อนที่จะพิจารณาในรายละเอียดของวงจรการขึ้นรูป ควรพิจารณาการไหลของพลาสติก ในกระบวนการให้ความร้อนเริ่มตั้งแต่การนำเข้าสู่แม่พิมพ์จนการในชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เมื่อแม่พิมพ์นำออกจากความร้อนเข้าสู่กระบวนการให้ความเย็นทั้งช่วงที่เริ่มให้ความเย็นจนกระทั่งพฤติกรรมในแต่ละช่วงจะอธิบายในหัวข้อนี้

ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนพฤติกรรมของผงพลาสติก

ขั้นตอน	สิ่งที่เกิด
ผงเริ่มเปลี่ยนรูป	ผงเข้าไปเกาะติดที่แม่พิมพ์
เริ่มให้ความร้อน	ผงพลาสติกเริ่มเปลี่ยนสภาพ
ช่วงของการตึง	ผงพลาสติกเริ่มติดกับแม่พิมพ์
การรวมกันของผงพลาสติก	โครงสร้างสามมิติ
ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น	โครงสร้างเป็นเส้น ผงพลาสติกละลายเปลี่ยนสถานะมี อากาศเข้าเป็นปัจจัยเพิ่ม
แยกออกจากความร้อน	ความร้อนทำให้เกิดการไหลเป็นชั้นๆ ของพลาสติก

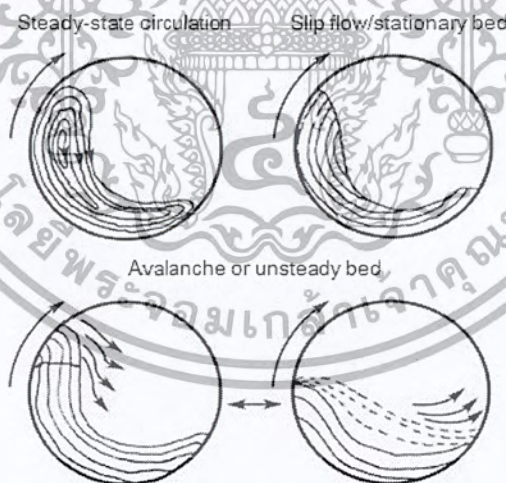
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มเข็นตัว	รูปแบบของการเข็นตัว
ตกผลึก	อัตราการตกผลึก หรือ อัตราการเข็นตัว
เข็นตัวอย่างสมบูรณ์	เกิดการหดตัวหลุดออกจากแม่พิมพ์

2.5.1 พฤติกรรมการไหลของพลาสติก

การขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุนที่ความเร็วรอบต่ำๆ โดยทั่วไปจะใช้ที่ 4-20 รอบต่อนาที ซึ่งผลของผงพลาสติกจะยังคงนอนอยู่ใต้โมล โพลีเมอร์สามารถแยกประเภทการไหลได้เป็นแบบการไหลแบบ Coulomb หรือ แบบ Viscous

สำหรับการไหลแบบ Coulomb ผงพลาสติกยังคงสัมผัสอย่างต่อเนื่องกับผงพลาสติกรอบๆ ในทุกสถานการณ์สำหรับการไหลแบบ Viscous ผิวสัมผัสแรงจะต่อต้านโดยการแลกเปลี่ยน โมเมนต์ระหว่างโมเลกุลในแต่ละการเคลื่อนที่ ทั้งสองประเภทที่กล่าวไปข้างต้นคือรูปแบบที่เห็นได้ในการขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน สามประเภทที่การไหลมีผงพลาสติกนอนอยู่กัน โมล ได้มีการสังเกต ซึ่งแสดงให้เห็นดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.12 การไหลของผงพลาสติกสามประเภท

Steady-state Circulation สำหรับการหมุนของผงพลาสติกแบบ Steady-state ที่ก้น ผงพลาสติกที่อยู่ติดกับแม่พิมพ์จะเคลื่อนที่ไปกับแม่พิมพ์จนถึงมุมๆหนึ่งจะตกลงมาตามแรงโน้มถ่วง สำหรับผงพลาสติกส่วนใหญ่จะมีมุมนี้อยู่ในช่วง 25-50 องศาเหนือแนวระดับ ที่จุดนั้นมวลของ

พลาสติกจะตกลงมา และตกไปที่ก้น การไหลประเภทนี้มี การไหลที่ต่อเนื่อง และอัตราการไหลจะ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงเพราะรูปร่างของแม่พิมพ์เท่านั้น ผงชนิดนี้มีลักษณะการไหลเป็นลักษณะเป็นทรงกลมหรือวงรี ตามรูปแม่พิมพ์และไหลอย่างอิสระ ผงพลาสติก แสดงการไหลแบบ Steady-state เป็นการไหลประเภท Viscous การไหลแบบ Steady-state ถูกสังเกตว่าเมื่อแม่พิมพ์มีผิวค่อนข้างหยาบ โมลตกุลของพลาสติกจะค่อนข้างใหญ่ และปริมาตรผงพลาสติกมีปริมาตรปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรแม่พิมพ์

Avalanche Flow การไหลประเภทนี้ มีการไหลคล้ายแบบหิมะถล่ม ผงพลาสติกที่นอนอยู่ด้านล่างจะยังคงอยู่เฉยๆ ด้านล่างของแม่พิมพ์ เมื่อแม่พิมพ์หมุนขึ้นผงพลาสติกด้านล่างก็จะขึ้นไปข้างบนแล้วพอลงถึงองศาหนึ่งก็จะตกลงมาที่จุดนั้น ส่วนบนของมวลจะไหลลงมาจากผนังแม่พิมพ์และหล่นไปที่ด้านล่างและด้านล่างจะอยู่นิ่งแทนเป็นอย่างไรไปเรื่อยๆ ทำให้รู้ว่าการไหลแบบนี้มันเกิดเมื่อผงพลาสติกจะเหนียวเล็กน้อย หรือ ไม่ได้ไหลอิสระ และเมื่อผงพลาสติกมีสองมิติ เมื่อการไหลประเภทนี้เกิดขึ้น คือ การบอกว่าการไหลไม่ได้เป็นแบบ Steady-state Flow มันไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นการไหลแบบ Viscous หรือ Coulomb การไหลแบบนี้ บางเวลาพบว่าผงนอนที่ก้นจะหายไประหว่างกระบวนการให้ความร้อน

Slip Flow การไหลประเภทนี้เกิดเมื่อผิวของแม่พิมพ์เรียบมาก ซึ่งการไหลแบบนี้มันจะแบบได้สองประเภท โดยการไหลแบบที่ที่เกิดขึ้นบ่อยนั้นจะเกิดเมื่อโมลเป็นทรงกระบอก โดยชั้นแรกผงพลาสติกที่นอนอยู่ที่ก้นจะไม่ขยับไปไหน ไม่ขยับไปตามผิวแม่พิมพ์คล้ายกับการไหลก่อนหน้านี้ เมื่อแม่พิมพ์หมุนขึ้นไปผงพลาสติกไม่ได้ขึ้นไปด้วย เมื่อแม่พิมพ์ทั้งหมดถึงจุดๆ หนึ่งที่มีความเสียดทานของผงพลาสติกกับแม่พิมพ์ไม่เพียงพอต่อการยึดเกาะก็จะเกิดการไหลที่ผิวแม่พิมพ์ที่จุดๆ นั้นพลาสติกที่อยู่ก้นจะไหลไปที่ก้นของแม่พิมพ์ ซึ่งก็จะเกิดขบวนการนี้ไปเรื่อยๆ ในการไหลประเภทนี้

แล้วการไหลที่ไม่ค่อยได้เกิดคือการไหลแบบคงตัว สำหรับการไหลประเภทนี้ผงพลาสติกที่ก้นยังคงยึดความสัมพันธ์ของแกนตามแนวระดับของโมล ผงพลาสติกมีการยึดกันอย่างดีและมีค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทาน

ต่ำกับโมล เช่น พวกลีโอฟิน และ FEP ซึ่งพวกนั้นจะแสดงให้เห็นการไหลประเภทนี้ และส่วนใหญ่ถ้าโมลถูกเคลือบ หรือ ขัดมัน พวกลีโอฟินที่ทำจากเทพรอน ก็มักทำให้เกิดการไหลประเภทนี้ การไหลประเภทนี้ถูกแบ่งว่าเป็นประเภทการไหลแบบ Coulomb การไหลแบบไหลถูกสังเกตว่าจะเกิดเมื่อผิวของโมลเรียบมาก หรือ ปริมาณของผงเยอะเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรภายในโมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ประเภทของการไหลของผงพลาสติก

ประเภท	แนะนำ
Steady-state circulation	<p>การไหลในอุดมคติ</p> <p>ผสมกันอย่างสมบูรณ์</p> <p>การถ่ายเทความร้อนดีมาก</p> <p>รูปร่างเป็นทรงกลม</p>
Avalanche	<p>การไหลแบบอิสระ</p> <p>ผิวของผงเรียบ</p> <p>มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูง</p> <p>มีการไหลแบบเหมาะสม</p> <p>ผงผสมตัวกันดี</p> <p>การถ่ายเทความร้อนดี</p> <p>รูปทรงกลมหรือแผ่นกลม</p>
พลาสติก	<p>ความเสียดทานสูงระหว่างแม่พิมพ์และผง</p>
Slip flow	<p>การไหลของผงแฉ่</p> <p>ผงไม่ผสมกัน</p> <p>การถ่ายเทความร้อนไม่ดี</p> <p>ผงพลาสติกยึดเกาะกันแน่นหรือเป็นก้อน</p> <p>ผงพลาสติกเหนียว</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 วิทยาศาสตร์การไหลของผงพลาสติก

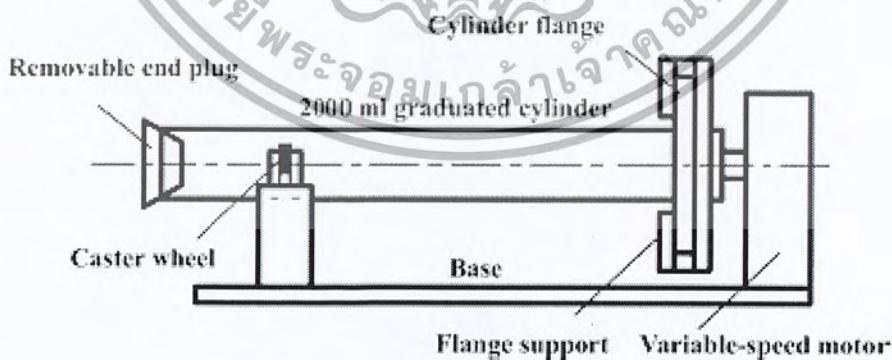
ได้มีการถกเถียงกันอย่างมาก ว่าเส้นทำที่ตีที่สุดที่จะรักษารูปแบบการเคลื่อนที่ของผงพลาสติก ในความเป็นจริงแล้ว การไหลของผงพลาสติกมันเป็นการไหลแบบอนุภาคไม่ต่อเนื่อง นั่นคือถูกแขวนลอยชั่วคราวในอากาศ ดังนั้นแสดงให้เห็นถึงสองระบบ ผงหนึ่งตัวตกลงในอากาศนิ่ง หรือ การไหลบางรูปแบบเป็นแบบกระแทก นั่นคือ อนุภาคจะเกิดแรงลากไปในทิศทางตามสัดส่วนและมีความสัมพันธ์กับความเร็ว และแรงโน้มถ่วง การไหลถูกยกโดยส่วนที่นอนติดกับแม่พิมพ์จะไหลขึ้นเมื่ออนุภาคหนาแน่นขึ้นจะเกิดการไหลแบบกระแทก โดยโคนอนุภาคภายในชนกันแล้วนั้นจะเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานจลน์ภายในเกิดขึ้นตลอดมากที่สุดของกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุนมีอนุภาคมามากมายที่มีแรงกระทำต่อกันในเส้นทางการไหล และส่วนใหญ่จะไม่ต่อเนื่องทำให้ทฤษฎีไม่สามารถใช้ได้ ความเป็นไปได้ที่เป็นข้อยกเว้น คือ ช่วงระหว่างตอนหลังของการไหลของผงพลาสติกเมื่อพลาสติกติดไปกับแม่พิมพ์หรือติดกับผงพลาสติก

มีคนที่ศึกษาวิทยาศาสตร์การไหลของพลาสติกมากมาย เพราะปัญหาที่เกิดจากการไหลแบบผสมหลายทิศทาง หรือการเคลื่อนที่ของการไหลของพลาสติก หรือ อากาศ ซึ่งหนึ่งในนั้นอากาศมีความสำคัญมันไม่มีความเร็ว และความหนาแน่น การไหลอย่างละเอียดอ่อนก็ยังเป็นที่ที่ผู้ศึกษายังไม่เข้าใจ

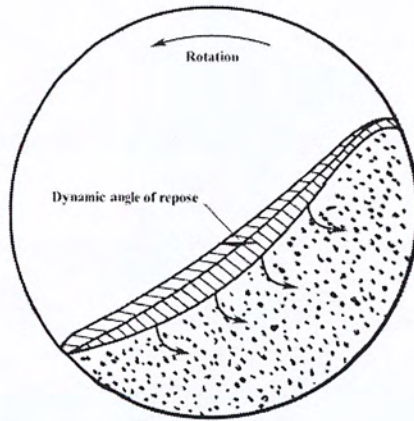
แนวทางการพิจารณา อันดับแรกในการสมมติฐาน คือการไหลเป็นแบบหลายเฟส และต่อเนื่อง นั่นคืออนุภาคจะมีผลเนื่องจาก คุณสมบัติ บุก ความหนาแน่น และความหนืด แต่ความสัมพันธ์ระหว่างอนุภาคจะไม่มีผล หรือไม่พิจารณา แนวคิดของความหนืดของการไหลเกิดมานานมากแล้ว แต่ยังไม่เพียงพอต่อการยอมรับ แนวคิดนี้เป็นพื้นฐานในการลดความเร็วของการตกของชั้นผงพลาสติกผ่านกับพื้นเอียงของโมลซึ่งเป็นการลดแรงเฉือน หรือ การลดการต้านทานการไหล ทำให้เห็นว่าความเร็วของการไหลไม่สำคัญในที่พื้นผิวอิสระ และความหนืด จะอธิบายได้เฉพาะเมื่อผิวแรงเฉือนอยู่หนึ่ง เมื่อผิวแรงเฉือนแลกเปลี่ยนอนุภาคกับผิวการไหล พลาสติกที่กำลังเคลื่อนที่ สามารถ เพิ่ม หรือลดมวลระหว่างการไหลผ่านพื้นผิวที่เกิดแรงเฉือน ซึ่งการแลกเปลี่ยนมวล จะขึ้นกับตัวแปรภายนอก เช่น แรงโน้มถ่วง ความเร็วการไหล ความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างของอนุภาค ขนาดและความสัมพันธ์ระหว่างขอบเขต

เมื่อความหนาแน่นบู่หลายเฟสเปลี่ยนแปลงกับความเร็วการไหล รูปร่าง ขนาดของอนุภาค และการไหลแบบนิวโทเนียน จะถูกเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของ Bingham-type, Dilatancy หรือ พฤติกรรมการไหลอัดตัวได้ในเร็วนี้ การวิเคราะห์หลายๆทิศทางของอนุภาคกับความสัมพันธ์ระหว่างการชนกันของอนุภาคหรือ ขึ้นอยู่กับวิธีการทางคอมพิวเตอร์ว่าทำนายรูปแบบการไหล เป็นแบบจับกลุ่มละเอียด หรือ ทรงกลม ซึ่งรูปแบบพวกนี้ทำนายปริมาณแรงเสียดทานของแข็งที่เพิ่มขึ้น ความเค้นที่ผิว และความเค้นเฉือนที่เพิ่มขึ้น ความหนืดที่เพิ่มขึ้น กับ อัตราการเพิ่มขึ้นของแรงเฉือนสอดคล้องกัน สนับสนุนว่าผงพลาสติก และอากาศจะแผ่ออกในอีกทางหนึ่ง มันแสดงให้เห็นว่าพฤติกรรมหลายเฟสนั้น เสถียรน้อยกว่าอัตราแรงเฉือน แต่ไม่เสถียรเล็กน้อยสูงกว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเรียกว่า ดาข่ายแรงเฉือน ถึงแม้ว่าวิธีการนี้ต้องการทำความเข้าใจในขนาดรูปร่างและสัดส่วนของอนุภาค ซึ่งการคาดการณ์ที่กล่าวมาก่อนข้างมีแนวโน้มถูกต้อง

โดยธรรมชาติของผงพลาสติกที่นอนอยู่ติดกับ โมลจะหลอมละลายเร็วในห้องทดลองทั่วไป ควรมีการวัดประเมินพฤติกรรมการไหลของโพลีเมอร์ และเทคนิคการบด ในรูปด้านล่างจะแสดงให้เห็นเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุนซึ่งหมุนแก่แกนรัศมี มีไว้เพื่อทำการวิเคราะห์ผลของการเติมระดับของผงที่นอนอยู่กับโมล การเคลื่อนที่ และธรรมชาติของการไหลระหว่างตอนละลายและยังไม่ละลาย สังเกตเครื่องจักรสามารถเปลี่ยนระหว่างให้ความร้อน ตัวอย่าง ผงพลาสติกเริ่มกลายเป็นเหนียวหรือ เริ่มเหนียว ติดกับแม่พิมพ์ การไหลที่กินสามารถเปลี่ยนจากไหล เป็นแบบหิมะถล่ม หรือ เสถียร เป็นหิมะถล่ม ซึ่งจะได้ผลแบบอนุภาคถึงอนุภาค อุณหภูมิ คงที่เปลี่ยนเป็น ไม่คงที่



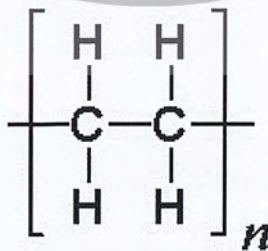
รูปที่ 2.13 อุปกรณ์ทดลองแบบแกนเดียว



รูปที่ 2.14 เครื่องมือสังเกตรไหลของผงพลาสติกที่นอนอยู่ที่ก้น

2.6 คุณสมบัติของโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ(๑)

คุณสมบัติทางกายภาพของ LDPE เป็นโพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (0.910 - 0.940 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) ที่ผลิตโดยใช้แรงดันสูง จากกระบวนการ Free Radical Polymerization มีความเหนียวและยืดหยุ่นได้ดี ทนต่อการกรออบแตก มีความนิ่ม ความใส โครงสร้างทางเคมีเป็นกิ่งสาขา (branching) มากกว่าโครงสร้างทางเคมีของ HDPE (High-density polyethylene) จึงมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ต่ำกว่า และมีความแข็งแรงทนทานน้อยกว่า HDPE LDPE ทนความร้อนได้ไม่มากนัก แต่ทนสารเคมีได้ดี โดยทนความร้อน (ทนอุณหภูมิสูงถึง 80°C และทนอุณหภูมิสูงถึง 95°C ในช่วงสั้น ๆ) ทนต่อสารเคมีน้อยกว่า HDPE เริ่มหลอมตัวที่ 120°C ทนความเย็นได้ถึง -50°C ทนต่อสภาพอากาศได้ดีพอสมควร แต่อากาศสามารถซึมผ่านได้ LDPE มีสีขาวขุ่น โปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว มีความเหนียวและยืดหยุ่น ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำจึงลอยน้ำได้ สามารถผสมให้มีสีต่าง ๆ ได้

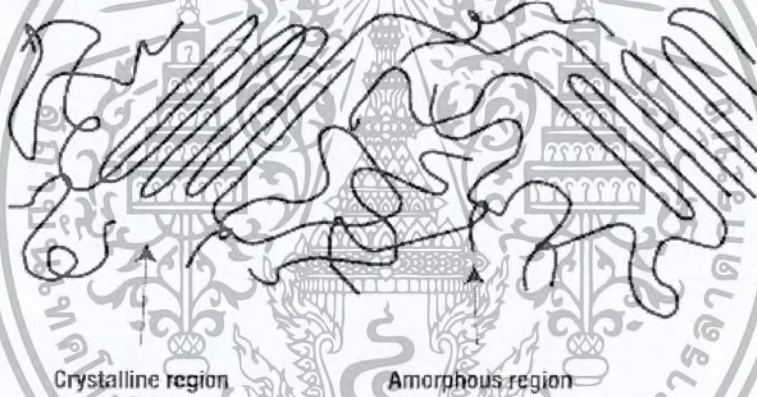


รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ LLDPE

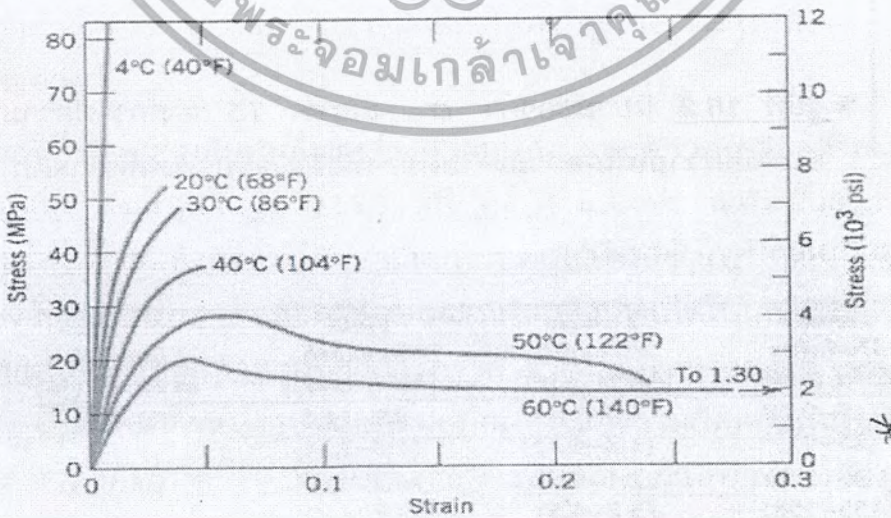


รูปที่ 2.16 แสดงพอลิเมอร์แบบกิ่ง

คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์จะขึ้นอยู่กับปริมาณของ โครงผลึก (Crystalline) ที่มีการจัดเรียงตัวกันเป็นอย่างเป็นระเบียบ ซึ่งยังมีการจัดเรียงตัวของ โครงผลึกที่เป็น ระเบียบมากขึ้นเท่าใด พอลิเมอร์ก็จะยิ่งมีความแข็งขึ้นมากเท่านั้น แต่ก็จะมีค่าความเหนียวน้อยลง และ มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเนื่องจาก โครงผลึกจะหดตัวและการยึดตัวกันแน่นขึ้น โดย HDPE จะมี ปริมาณผลึกที่มีการจัดตัวกันอย่างเป็นระเบียบสูงถึง 80-95% ในทางกลับกัน LDPE จะมีปริมาณผลึกที่ จัดอย่างเป็นระเบียบเพียง 60-70% เท่านั้น



รูปที่ 2.17 โครงสร้างผลึกแบบอสัณฐาน (Amorphous) และแบบผลึก (Crystalline)



รูปที่ 2.18 กราฟผลของอุณหภูมิต่อความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียดของ พอลิเมทิลเมทาไครเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 มอเตอร์[3]

มอเตอร์คืออุปกรณ์ที่แลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล ซึ่งอาศัยไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กเป็นตัวขับเคลื่อนแกนมอเตอร์ให้หมุน โดยมีทั้งมอเตอร์กระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC)

ข้อดีของ DC Motor คือ

1. การควบคุมแรงบิดหรือความเร็วทำได้ง่ายและดีมาก
2. มีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง (response) ได้รวดเร็ว
3. การปรับความเร็วรอบสามารถทำได้ในช่วงกว้าง

ข้อเสียของ DC Motor คือ

1. การบำรุงรักษาสูงมากเนื่องจากมีส่วนสึกหรอของแปรงถ่าน
2. ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับ AC motor ที่มีขนาดกำลังแรงม้าเท่ากัน
3. มีขนาดใหญ่กว่า AC motor ที่มีขนาดกำลังเท่ากัน
4. หาแหล่งจ่ายที่เป็นไฟกระแสตรงได้ยาก
5. ไม่สามารถนำไปใช้ในที่ที่มีสารไวไฟได้

ข้อดีของ AC Motor

1. ราคาถูกกว่า DC motor ที่มีขนาดพิกัดกำลังเท่ากัน เช่น ที่ขนาดกำลัง 2 แรงม้า AC motor ราคา 4,500 บาท ส่วน DC motor ราคา 20,000 บาท
2. มีลักษณะโครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน และเล็กกว่า DC motor ที่พิกัดเท่ากัน
3. การบำรุงรักษาน้อยมาก แข็งแรงทนทาน
4. ใช้ในสถานที่ที่มีสารไวไฟ หรือ สารเคมีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. มีประสิทธิภาพสูงกว่า DC motor

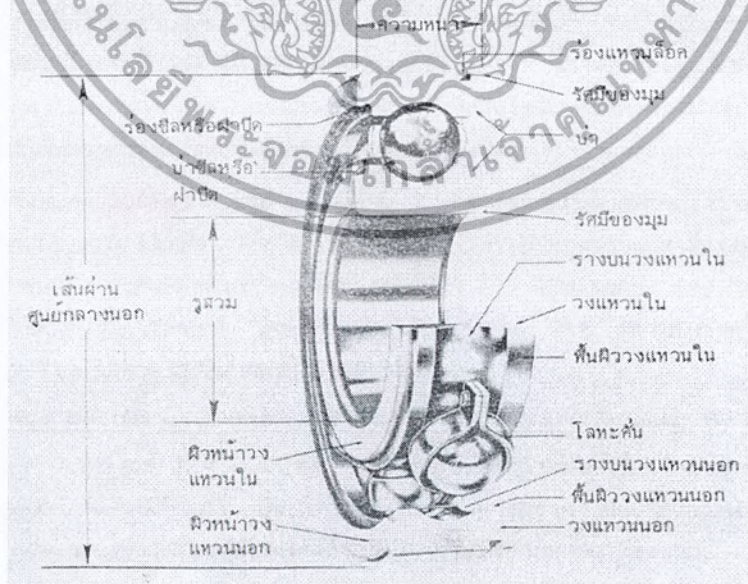
6. หาซื้อได้ง่ายและเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลาย

ข้อเสียของ AC Motor

การควบคุมความเร็วทำได้ยากมาก จะต้องใช้อุปกรณ์ทาง Power Electronics มาควบคุมคือ Inverter ซึ่งค่อนข้างจะมีราคาสูงมาก

2.8 แบริ่ง[5]

โรตลิ่งแบริ่ง (Rolling bearing) หมายถึง แบริ่งชนิดที่รับแรงโดยอาศัยชิ้นส่วนของแบริ่งที่มีลักษณะเป็นผิวสัมผัสแบบกลิ้ง (Rolling contact) แทนที่จะเป็นผิวสัมผัสแบบเลื่อน (Sliding contact) เนื่องจากแบริ่งชนิดนี้มีค่าความเสียดทานน้อยมาก ดังนั้น จึงมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งที่ยอมรับใช้กันทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมว่า แอนติฟริกชันแบริ่ง (Anti-friction bearing) ตัวอย่างเช่น บอลแบริ่ง (Ball bearing) หรือ คลับลูกปืน ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเหล็กกล้าสองวงที่แยกออกจากกัน ด้วยลูกกลิ้งทรงกลม ลูกกลิ้งเหล่านี้รับแรงจากวงแหวนหนึ่งแล้วส่งผ่านแรงไปยังวงแหวนอีกวงหนึ่ง โดยการกลิ้งไปบนวงแหวน



รูปที่ 2.19 ส่วนต่างๆของบอลแบริ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการใช้โรลลิ่งแบร์ริงกันอย่างแพร่หลายทั่วไป สมาคมผู้ผลิตโรลลิ่งแบร์ริง (AFBMA : Anti-Friction Bearing Manufacturers Association) จึงได้วางมาตรฐานการกำหนดขนาดและหลักเกณฑ์ที่จะใช้ในการเลือกแบร์ริงเหล่านี้ขึ้น จากมาตรฐานนี้ทำให้ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลสามารถเลือกแบร์ริงจากแค็ตตาล็อกของผู้ผลิตหนึ่ง และทำการเปลี่ยนแปลงแบร์ริงนี้โดยการเลือกอีกผู้ผลิตหนึ่งได้ โดยที่แบร์ริงที่เลือกจากผู้ผลิตทั้งสองยังคงมีขนาดเท่ากัน

2.8.1 อายุการใช้งานของแบร์ริง

การเสียหายของแบร์ริงเกิดจากความล้า ซึ่งก็แสดงว่าอายุการใช้งานของแบร์ริงมีระยะเวลาที่จำกัดขึ้นอยู่กับค่าของความเค้นที่กระทำซ้ำ จากผลการทดลองของ Lundberg และ Palmgren ซึ่งได้ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับประเมินค่ามาตรฐานของ AFBMA พบว่าอายุการใช้งาน L เป็นสัดส่วนกลับกับแรงในแนวรัศมี P ในกรณีที่ไม่มีทั้งแรงในแนวรัศมีและแรงรุน P จะเป็นแรงในแนวรัศมีสมมูล (Equivalent radial load) ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป นั่นคือ สมการ (2.12)

$$L \propto \frac{1}{P^k} \quad (2.12)$$

โดยที่ค่าคงที่ $k=3$ สำหรับบอลแบร์ริง

$K = 10/3 = 3.33$ สำหรับโรลเลอร์แบร์ริง

อายุการใช้งาน L นี้มักจะนับเป็นชั่วโมงที่ความเร็วรอบของเพลาอันหนึ่ง หรือนับเป็นจำนวนล้านรอบ mr (Millions of revolution) จากสมการ (2.12) จะเห็นได้ว่า

$$\frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^k \quad (2.13)$$

จากสมการ (2.13) จะเห็นได้ว่าแรงลดลงหนึ่งเท่าแล้ว อายุการใช้งานของบอลแบร์ริงจะเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ

$$\frac{L_1}{L_2} = 2^3 = 8 \text{ เท่า}$$

สำหรับโรลลิ่งแบร์ริง อายุการใช้งานเพิ่มขึ้นอีก

$$\frac{L_1}{L_2} = 2^{3.33} = 10.06 \text{ เท่า}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นผู้ที่เลือกใช้โรลิ่งแบร์ริงจึงต้องระมัดระวังในการคำนวณหาขนาดของแรงที่กระทำต่อแบร์ริงให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่มากที่สุด

2.8.2 การประเมินค่าอายุการใช้งานและแรง

ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการผลิตและควบคุมคุณภาพของ โรลเลอร์แบร์ริงอย่างทันสมัย แต่ก็ปรากฏว่าแบร์ริงชนิดเดียวกันที่ผลิตออกมาภายใต้วิธีการและเครื่องมือขึ้นเดียวกัน จะมีอายุใช้งานแตกต่างกันไปมาก ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากความยากลำบากในการควบคุมความกลมของลูกกิ้ง และความเรียบของผิวหน้าลูกกิ้งสมาคม AFBMA ได้ตั้งนิยามและจัดตั้งวิธีการเลือกแบร์ริงขึ้น ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1. อายุการใช้งานของ โรลิ่งแบร์ริง หมายถึง จำนวนรอบ (หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่) ซึ่ง แบร์ริงหมุนได้ก่อนที่จะเริ่มเกิดความล้าขึ้นในวงแหวนหรือลูกกิ้ง

2. อายุประเมิน (Rating life) ของ โรลิ่งแบร์ริง จำนวนหนึ่งซึ่งมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ หมายถึง จำนวนรอบ (หรือจำนวนชั่วโมงที่ความเร็วคงที่) ซึ่งแบร์ริง 90% จากจำนวนนี้สามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้า และใช้แทนด้วยอายุใช้งาน L_{10}

ผู้ผลิตบางบริษัทอาจจะใช้อายุใช้งานเฉลี่ย (Median life) เป็นอายุประเมินก็ได้ อายุใช้งานเฉลี่ยนี้ หมายถึงจำนวนรอบที่ 50% ของแบร์ริงที่เหมือนกัน จำนวนหนึ่งสามารถหมุนได้โดยไม่เกิดความล้าขึ้นและใช้แทนด้วยอายุใช้งาน L_{50} ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ L_{10} โดยประมาณ คือ

$$L_{50} = 5L_{10} \quad (2.14)$$

3. แรงสถิตประเมิน (Basic static load rating) หมายถึง แรงในแนวรัศมีที่ทำให้เกิดระยะยุบตัวของลูกกิ้งและวงแหวนรวมกันเท่ากับ 0.0001 เท่ากับของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกิ้งและใช้แทนด้วย C_0 ของ C_0 สำหรับแบร์ริงอนุกรมมิติต่างๆ ดูได้จากตารางมิติมาตรฐานและแรงประเมินของสมาคม AFBMA ค่า C_0 ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำแบร์ริง จำนวนแถวของลูกกิ้งในแบร์ริง จำนวนลูกกิ้งต่อแถว มุมสัมผัสตลอดจนขนาดของลูกกิ้งและวงแหวน

4. แรงพลวัตประเมิน (Basic dynamic load rating) บางครั้งอาจจะเรียกว่า สมรรถนะแรงพลวัต (Basic dynamic capacity) ของ โรลิ่งแบร์ริง หมายถึงแรงที่กระทำในแนวรัศมี ซึ่งแบร์ริงที่มีลักษณะเหมือนกันจำนวนหนึ่งจะรับได้ โดยมีอายุประเมิน L_{10} เท่ากับหนึ่งล้านรอบเมื่อวงแหวนอันในเป็นตัวหมุนและวงแหวนอันนอกอยู่นิ่ง และใช้แทนด้วย C ซึ่งได้แสดงอยู่ในตารางมิติมาตรฐานและ

แรงประเมินตามตารางในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงพลวัตประเมน C นี้ เป็นค่าที่ใช้ในการเลือกขนาดเบริงเพื่อให้รับแรงและมีอายุใช้งานได้ตามความต้องการ โดยการเปลี่ยนแรงและอายุใช้งานจริงมาเป็นแรงและอายุการใช้งานที่แสดงได้ในเค็ดตาลีอก (คือแรงในแนวรัศมีที่ทำให้มีอายุประเมนเท่ากับหนึ่งล้านรอบ) หรือทางกลับกัน คือ เลือกเบริงจากเค็ดตาลีอกแล้วเปลี่ยนให้รับแรงได้เท่าที่ต้องการใช้งานจริง และดูว่าอายุประเมนจะได้ตามอายุใช้งานที่ต้องการหรืออ่าม ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้สมการ (2.13) ดังนี้

ให้ L_{10} เป็นอายุการใช้งานจริงซึ่งมีหน่วยเป็นล้านรอบ (mr) และ P เป็นแรงในแนวรัศมีที่เบริงจะต้องรับขณะใช้งานจริง จากสมการ (2.13) จะเห็นว่า

$$L_1 = L_{10} \qquad P_1 = P$$

$$L_2 = 1 \text{ mr} \qquad P_2 = C$$

ดังนั้น
$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^K \qquad (2.15)$$

จากสมการ (2.15) ทำให้ทราบว่าเบริงที่เลือกมาจากอายุประเมนจำนวนหนึ่งล้านรอบนั้นจะสามารถทำงานได้กี่ล้านรอบขณะใช้งานจริง

2.8.3 แรงสมมูล

ในการใช้งานจริง โรลลิงเบริงอาจจะรับทั้งแรงในแนวรัศมีและแนวแกน และวงแหวนในหรือนอกจะเป็นอันที่หมุนก็ได้ ซึ่งก็แล้วแต่ผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อีกประการหนึ่งเค็ดตาลีอกของผู้ผลิตจะกำหนดให้เฉพาะอายุประเมนในเทอมของแรงในแนวรัศมีเท่านั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแรงและเงื่อนไขจากที่ใช้ทำงานจริงๆ มาให้เป็นแรงในแนวรัศมีโดยมีวงแหวนในเป็นตัวหมุนเรียกว่า แรงสมมูล (Equivalent force) เพื่อจะได้ใช้ในการเลือกเบริงจากเค็ดตาลีอกได้ สมาคม AFBMA ได้กำหนดนิยามของแรงสมมูลไว้ดังนี้

แรงสมมูล หมายถึง แรงในแนวรัศมีซึ่งถ้าทำให้กระทำต่อโรลลิงเบริง โดยที่วงแหวนในหมุนและวงแหวนนอกอยู่นิ่งแล้ว จะทำให้เบริงมีอายุการใช้งานเท่ากับอายุใช้งานของเบริงที่รับแรงจริง (ซึ่งอาจจะมีทั้งแรงในแนวรัศมีและแนวแกนพร้อมกัน) และให้คำนวณได้จากสมการ

$$P = XVF_r + YF_a \qquad (2.16)$$

$$\text{หรือ} \quad P = XVF_r \quad (2.17)$$

โดยที่ P คือ แรงสมมูล

F_r คือ แรงในแนวรัศมี

F_a คือ แรงในแนวแกนหรือแรงรุน

V คือ ตัวประกอบการหมุนมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อวงแหวนในหมุน และ 1.2 เมื่อวงแหวนนอกหมุน ถ้าเป็นบอลเบริงให้ใช้ค่าเท่ากับ 1 เสมอ

X คือ ตัวประกอบแรงในแนวรัศมี (Radial load factor)

Y คือ ตัวประกอบแรงรุน (Thrust load factor)

ค่าแรงสมมูลที่ใช้ในการเลือกขนาดเบริง ให้ใช้ค่าที่ได้จากสมการ (2.16) และ (2.17) แล้วแต่ว่าค่าไหนจะมากกว่า สำหรับบอลเบริงกันรุนและโรลเลอร์เบริงกันรุนแล้ว ให้คำนวณค่าแรงสมมูลจากสมการ (2.16) โดยให้ $V = 1$ ส่วน Straight roller bearing นั้นจะใช้รับเฉพาะแรงในแนวรัศมีเท่านั้น จึงให้คำนวณแรงสมมูลจากสมการ (2.17) ค่า X และ Y ในตารางที่ 3 มีค่าลดลงตามลำดับ จึงทำให้สามารถประมาณค่าแบบเชิงเส้นในตารางได้

2.9 การออกแบบเพลา[2]

เพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีใช้อยู่ในเครื่องจักรเกือบทุกชนิด โดยเพลาอาจมีชื่อเรียกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานดังต่อไปนี้ คือ

เพลา (Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน (Axle) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่าเพลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่กับที่ก็ตาม

สพินเดิล (Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นไม่หมุน เช่น เพลาที่หัวแทนกลึง (Head-stock spindle) เป็นต้น

สตับชาฟต์ (Stub Shaft) หรือบางครั้งเรียกว่าเฮดชาฟต์ (Head Shaft) เป็นเพลลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์ มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลลาอื่นๆ

เพลลาแนว (Line Shaft) หรือเพลลาส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) หรือเพลลาเมน (Main Shaft) เป็นเพลลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และใช้ในการส่งกำลังไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ โดยเฉพาะ

แจ็คชาฟต์ (Jackshaft) หรือเคาน์เตอร์ชาฟต์ (Counter Shaft) เป็นเพลลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลลาอ่อน (Flexible Shaft) เป็นเพลลาที่สามารถอ่อนตัวหรืองอโค้งได้ เพลลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (Wire Rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่แกนหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด หรือแรงคด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้น การคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนี้เพลลาจะต้องมีความแข็งเกร็ง (Rigidity) เพียงพอเพื่อลดมุมบิดภายในเพลลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะเวลาโก่ง (Deflection) ของเพลลาเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเพลลา เช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลลาที่มีระยะเวลาโก่งมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤต (Critical Speed) ของเพลลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลลาเกิดการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะเวลาโก่งนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของแบริ่งที่รองรับเพลลา เช่น บอลแบริ่ง (Ball bearing) ก็ต้องมีการเอียงแนวในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลลาด้วย

2.9.1 วัสดุเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไปคือเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel) แต่ต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 mm มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลลามีราคาถูกที่สุดด้วย ผู้ออกแบบจึงควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

2.9.2 ขนาดของเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์กรมาตรฐานจึงได้กำหนดมาตรฐานของเพลลาซึ่งเป็นขนาดระบุ (Normal Size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของเบริงที่ใช้รองรับเพลลาด้วย

2.9.3 การพิจารณาในการออกแบบเพลลา

การคำนวณหาขนาดของเพลลาที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลลาเพื่อให้ทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเดียวยังไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลลาลูกเบี้ยว (Cam Shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีขนาดที่เพียงพอ ดังนั้นมุมบิดของเพลลาที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือ เพลลาจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ภายในพิคัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากเกินไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและเบริงที่รองรับเพลลาอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น

ถึงแม้ว่าจะไม่มีมาตรฐานสำหรับพิคัดมุมบิดของเพลลาไว้ก็ตาม ในทางปฏิบัติแล้วมักจะใช้มุมบิดของเพลลาในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3° ต่อความยาวเพลลา 1 เมตร สำหรับเพลลาส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มีมุมบิดได้ถึง 1° ต่อความยาวเพลลา 20 เท่า ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา ในกรณีของเพลลาลูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะให้มุมบิดได้ไม่เกิน 0.5° ตลอดความยาวเพลลา

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแรงทางด้านระยะโค้ง เพราะจะต้องใช้ระยะโค้งของเพลลาที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญ ในการกำหนดระยะเบียด (Clearance) ระหว่างล้อสายพานเฟือง โครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของเบริงสำหรับรองรับเพลลาให้เหมาะสม ถ้าเพลลามีระยะโค้งมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลง เป็นผลทำอัตราส่วนการขบ (Contact Ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกเบริงมารองรับเพลลาก็เช่นกันจำเป็นจะต้องเลือกเบริงชนิดที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะกับความโค้งของเพลลาที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเบริงแบบธรรมดาหรือเบริงแบบปรับแนวตัวเอง (Self-Aligning Bearing) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะโค้งเป็นสำคัญ

ระยะ โกงที่กล่าวมานี้ก็ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบ อาจจะต้องค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงทางด้านระยะ โกง ได้ดังนี้คือ

สำหรับเพลาคู่มือจักรทั่วไป ค่าระยะ โกงระหว่างจุดที่รองรับด้านแบริงควรจะไม่เกิน 0.08 mm/m

สำหรับเพลามีเฟืองตรง (Spur Gear) คุณภาพที่อยู่ด้วย ระยะ โกง ϕ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกัน ไม่ควรเกิน 0.125 mm และความลาดเอียงของเพลาคู่มือ ตำแหน่งนี้ควรจะน้อยกว่า 0.0286°

สำหรับเพลามีเฟืองคอกจอก (Bevel Gear) คุณภาพที่ดีอยู่ด้วย ระยะ โกง ϕ ตำแหน่งที่เฟืองขบกัน ไม่ควรเกิน 0.075 mm

จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นว่าขนาดของเพลาคู่มือจะหาได้โดยใช้ความแข็งแรงที่ต้องการ แทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรับแรงภายนอกได้ การหาระยะ โกงของเพลามีขนาดเท่ากันตลอด อาจทำได้โดยใช้วิธีเรียนรู้มาแล้วในวิชาคณิตศาสตร์วิเศษ เช่น วิธีอินทิเกรตสองครั้ง (Double Integration) วิธีพื้นที่ของโมเมนต์ค้ำ (Moment Area) เป็นต้น

สำหรับเพลามีขนาดไม่เท่ากันตลอด (Stepped Shaft) การใช้วิธีดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น อาจจะไม่สะดวกและเสียเวลา โดยเฉพาะวิธีอินทิเกรตสองครั้งเพราะต้องใช้สภาพของขอบเขต (Boundary Condition) ใหม่ทุกครั้งทีเวลาเพลาลักษณะเปลี่ยนขนาด วิธีที่นิยมใช้กัน (แต่ก็ยังใช้เวลานาน) คือวิธี Graphical Integration และ Numerical Integration

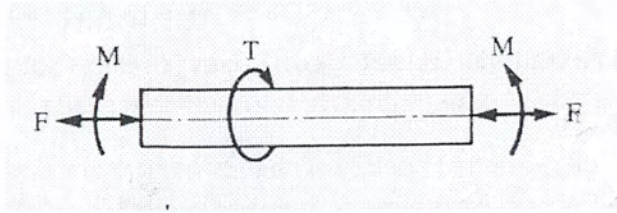
2.9.4 การออกแบบเพลาคู่มือตามโค้ดของ ASME

ก่อนปี พ.ศ.2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลาคู่มือกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด (Code) โดยสมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) ถึงแม้ว่าเวลาจะล่วงเลยมานานแล้วก็ตาม วิธีการออกแบบเพลาคู่มือตามโค้ดของ ASME ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

วิธีดังกล่าวนี้ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนานั่นที่เกิดขึ้นบนเพลาคู่มือ ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static Design Method) ในการหาสมการสำหรับออกแบบเพลาคู่มือให้พิจารณาในรูปที่ 2.16 ให้เพลาคู่มือเป็นแบบกลมและกลวง โดยมีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_i และ d ตามลำดับ ความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นบนเพลามีดังต่อไปนี้ คือ



รูปที่ 2.20 เพลที่อยู่ภายใต้แรงต่างๆ

ความเค้นแรงดึงหรือกด
$$\sigma_a = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.18)$$

ความเค้นดัด
$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.19)$$

ความเค้นเฉือน
$$\tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.20)$$

ในกรณีที่เป็แรงกด อาจมีผลต่อการโก่งงอ (Buckling) ได้ ดังนั้นสมการ (2.18) จะกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(d^2 - d_i^2)} \quad (2.21)$$

เพลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลามนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาได้ ดังนั้นเพลาก็เกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีการแบบสถิติศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue Factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

ถ้าให้ C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ดังนั้นสมการที่ (2.19) และ (2.20) จึงกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m M d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.22)$$

$$\tau_{xy} = \frac{16C_t T d}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด
$$\tau = \left[\tau_{xy}^2 + \left[\frac{\sigma}{2} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.24)$$

แทนค่าสมการที่ (2.21), (2.22), (2.23) และสมการที่ (2.24) ลงในสมการข้างบนนี้แล้วจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[(C_t T)^2 + \left[\frac{\alpha F d (1+K^2)}{8} + C_m M \right]^2 \right]^{1/2} \quad (2.25)$$

โดยที่ $K = d/d$

ในกรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย สมการที่ (2.3.8) จะลดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2} \quad (2.26)$$

หรือในกรณีเพลตตัน $K = d/d = 0$ เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.26) จะลดรูปเหลือ

เพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} \{(C_t T)^2 + (C_m M)^2\}^{1/2} \quad (2.27)$$

ค่าตัวประกอบความล้มสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ ซึ่งหาได้จากตารางค่าตัวประกอบความล้มในภาคผนวก

สำหรับตัวประกอบของการโค้งงอ ASME ได้แนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$$\alpha = 1 \text{ เมื่อ } F \text{ เป็นแรงดึง} \quad (2.28)$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - 0.0044(L/K)} \text{ เมื่อ } L/K \leq 115 \quad (2.29)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_y(L/K)^2}{\pi^2 n E} \text{ เมื่อ } L/K > 115 \quad (2.30)$$

โดยที่ $n = 1.00$ เมื่อปลายเป็นแบบ ss

$n = 2.25$ เมื่อปลายเป็นแบบ CC

$n = 1.60$ เมื่อปลายเพลตถูกจับเป็นบางส่วน (Partially Restrained)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L = ความยาวจริงของเพลลา

จะเห็นได้ว่าสมการที่ (2.29) เป็นสมการของสูตรเส้นตรง (Straight Line Formula) และสมการที่ (2.30) เป็นสมการของออยเลอร์ ซึ่งแก้ไขค่าคงที่ใหม่

นอกจากนี้โค้ดของ ASME ยังได้ระบุเอาไว้ว่าเพลลาซึ่งมาใช้อยู่ในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีค่าความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$$\tau_d = 55 \text{ mm}^2 \text{ สำหรับเพลลาที่ไม่มีร่องลึ้ม}$$

$$\tau_d = 41 \text{ mm}^2 \text{ สำหรับเพลลาที่มีร่องลึ้ม}$$

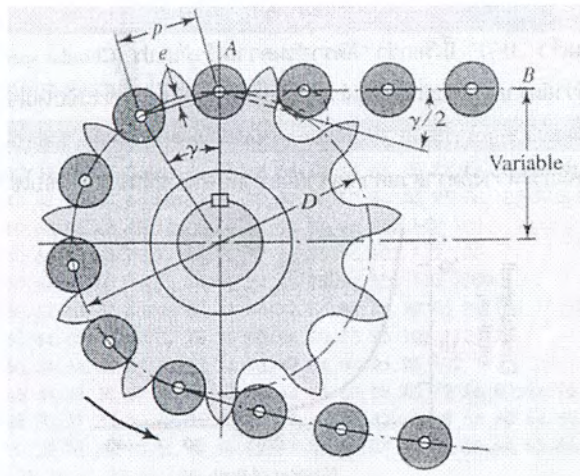
แต่ถ้ากำหนดวัสดุของเพลลาที่บอกถึงหมายเลขของโลหะ หรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งานจากสมการที่ (2.31) โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาคำนวณคือ

$$\tau_d = 0.3 \sigma_y \text{ หรือ } \tau_d = 0.18 \sigma_u \quad (2.31)$$

และถ้าเพลลาที่มีร่องลึ้มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งานโดยใช้เพียง 75% ของค่าในสมการที่ (2.31)

2.10 โซ่ลูกกลิ้ง (Roller Chain)[4]

โดยทั่วไปโซ่จะแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท คือ โซ่ขับหรือโซ่ส่งกำลัง (Transmission chain) โซ่ลำเลียง (Conveyor chain) และโซ่ดึง คุณสมบัติพื้นฐานของกรขับเคลื่อนด้วยโซ่ประกอบด้วยอัตราการทดรอบคงที่ เนื่องจากไม่มีการลื่นไถลและการคืบมาเกี่ยวข้อง มีอายุการใช้งานยืนยาว และสามารถขับเพลลาได้หลายตัวจากแหล่งส่งกำลังเพียงแหล่งเดียว โซ่กำลังยังสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภท เช่น โซ่ลูกกลิ้ง (Roller chain) โซ่ปลอก (Bush chain) โซ่เงียบ (Silent chain) ฯลฯ



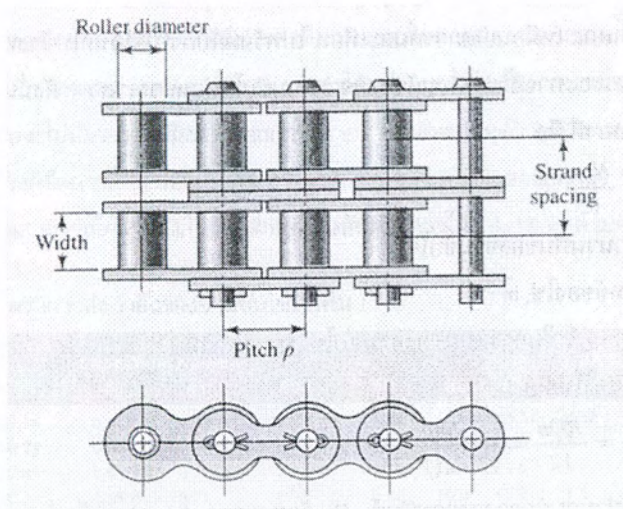
รูปที่ 2.21 ส่วนประกอบของโซ่ลูกกลิ้งสองแถว

ถึงแม้ว่างานขับโซ่ที่มีฟันเป็นจำนวนมากจะได้รับการพิจารณาว่าเป็นสิ่งที่ต้องการ แต่ในการใช้งานตามปกติ งานขับโซ่ที่มีจำนวนฟันน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ก็มีข้อดี คือมีการทำงานที่ราบเรียบในความเร็วปานกลางถึงความเร็วสูง จะไม่มีการผลิตงานขับโซ่มาตรฐานที่มีจำนวนฟันมากกว่า 120 ซี่ เพราะโซ่จะเกิดการยึดตัวจนกระทั่งไปขัดกับงานขับโซ่ก่อนที่จะเกิดการสึกหรอ งานขับโซ่ที่มีประสิทธิภาพจะสามารถทนความเร็วรอบได้ในอัตราส่วนถึง 6:1 แต่ถ้าต้องการให้มีอัตราส่วนในการทดรอบมากกว่านี้ก็สามารถทำได้แต่อายุการใช้งานของโซ่ก็จะลดลง

โซ่ลูกกลิ้งแทบจะไม่เกิดความเสียหายจากการคราก แต่มักจะเกิดความเสียหายจากการใช้งานนานจนเกินไป ซึ่งความเสียหายที่แท้จริงก็คือการสึกหรอที่ลูกกลิ้ง หรือเกิดการฉีกที่ผิวสัมผัสของลูกกลิ้ง บริษัทผู้ผลิตโซ่ลูกกลิ้งได้สร้างตารางข้อมูลแสดงความสามารถในการส่งกำลังที่สอดคล้องกับอายุการใช้ 15 kh ตามความเร็วรอบของงานขับโซ่

ความสามารถในการส่งกำลังของโซ่ลูกกลิ้งที่แสดงในตารางตั้งอยู่บนพื้นฐานดังต่อไปนี้

1. เป็นโซ่แถวเดียว รับโหลดเต็มที่ เป็นเวลา 15000
2. มีการยึดตัว 3 %
3. ใช้สารหล่อลื่นตามความเหมาะสม แพลกเตอร์การใช้งานเท่ากับ 1
4. เพลาวางตัวในแนวอน และใช้งานขับโซ่ที่มีฟัน 17 ซี่ 2 ตัว



รูปที่ 2.22 การขบกันของโซ่ลูกกลิ้งกับงานขั้วโซ่

โดยมากมักจะนิยมใช้งานขั้วโซ่ที่มีจำนวนฟันเป็นเลขคี่ ใช้กับโซ่ที่มีจำนวนพิทช์เป็นเลขคู่ เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้ข้อต่อเพิ่มเป็นพิเศษ ความยาวโดยประมาณของโซ่ คือ

$$\frac{L}{p} = \frac{2C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C/p} \quad (2.32)$$

กำลังส่งที่ยอมรับได้ H_a หาได้จากสมการ

$$H_a = K_1 K_2 H_{tab} \quad (2.33)$$

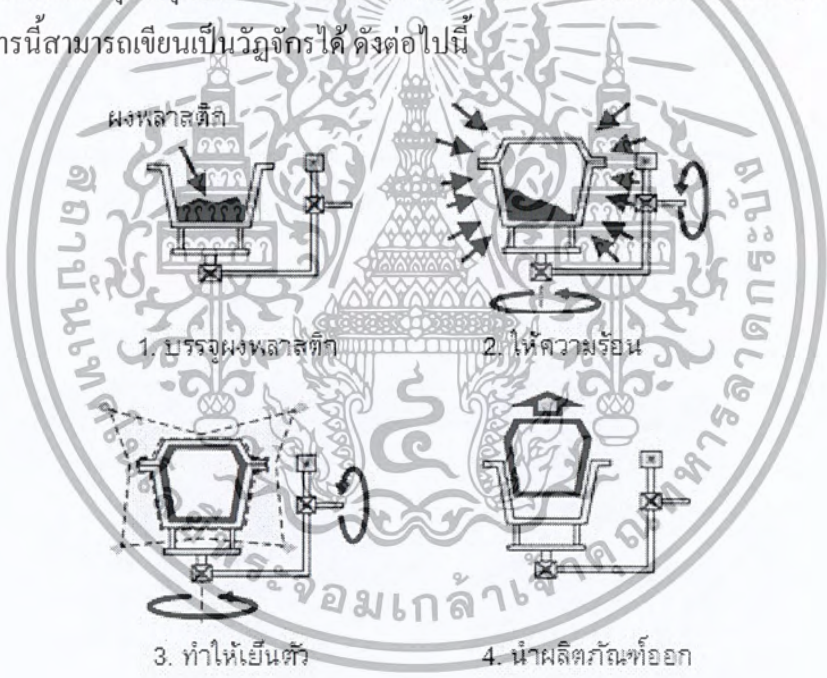
เมื่อ K_1 คือ แฟกเตอร์แก้ไขจำนวนฟันของงานขั้วโซ่ที่ไม่ใช่ 17 ซี่ (ดูตารางในภาคผนวก)

K_2 คือ แฟกเตอร์แก้ไขจำนวนแถวของโซ่ (ดูตารางในภาคผนวก)

หลักการทํางานและวิธีการทดลอง

3.1 ขั้นตอนการขึ้นรูปพลาสติก[6]

หลักการของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกชนิดหมุนจะง่าย ไม่มีความซับซ้อน โดยทั่วไป กระบวนการประกอบด้วย การกรูปริมาณของเม็ดพลาสติกที่เป็นผงละเอียดที่จะใช้ในการขึ้นรูป จากนั้นแม่พิมพ์จะเคลื่อนที่แบบหมุนหรือโยก ในลักษณะสองแกนหลักด้วยความเร็วสัมพัทธ์ค่อนข้างต่ำ จากนั้นก็เป็นการให้ความร้อนจนเม็ดพลาสติกละลายติดกับผนังแม่พิมพ์ส่วนในกระบวนการเย็นตัว แม่พิมพ์ยังคงหมุนแบบต่อเนื่อง เพื่อให้พลาสติกคงรูปทรงที่ต้องการ และเมื่อชิ้นงานกลายเป็นของแข็ง และแม่พิมพ์หยุดหมุนแล้วจากนั้นจึงจะสามารถแกะผลิตภัณฑ์พลาสติกออกจากแม่พิมพ์ได้ ในกระบวนการนี้สามารถเขียนเป็นวัฏจักรได้ ดังต่อไปนี้

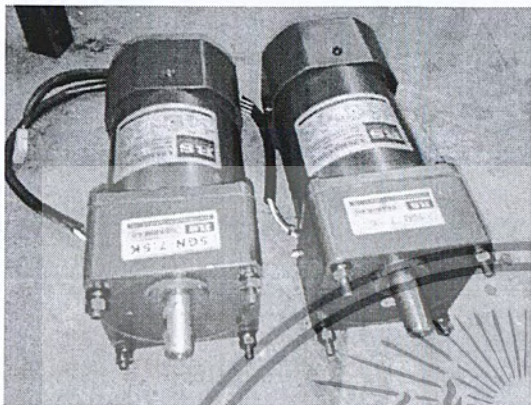


รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน

ระยะเวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงานหากระยะเวลาที่ใช้สั้นเกินไปหรือเตาอบมีอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปแล้วการรวมตัวของเม็ดพลาสติกจะไม่สมบูรณ์ ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเค้นต่ำ ขาดความแข็งและขาดความเหนียวในผลิตภัณฑ์ได้ ในทางกลับกันถ้าระยะเวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงานหากระยะเวลาที่ใช้เวลานานเกินไปหรือเตาอบมีอุณหภูมิที่สูงเกินไปแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์ใหม่และมีค่าความเค้นสูงทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเปราะ เพราะฉะนั้นระยะเวลาที่ใช้ในการอบพลาสติกจึงได้จากการทดลอง

3.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องขึ้นรูปพลาสติก

3.2.1 มอเตอร์ต้นกำลัง ใช้มอเตอร์เกียร์ AC 2 ตัวขนาด 60 วัตต์ และ 90 วัตต์ ความเร็วรอบมอเตอร์ 1,300 รอบต่อนาที เกียร์ทด 7.5 มีชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์



รูปที่ 3.2 มอเตอร์ขนาด 60 วัตต์ และ 90 วัตต์



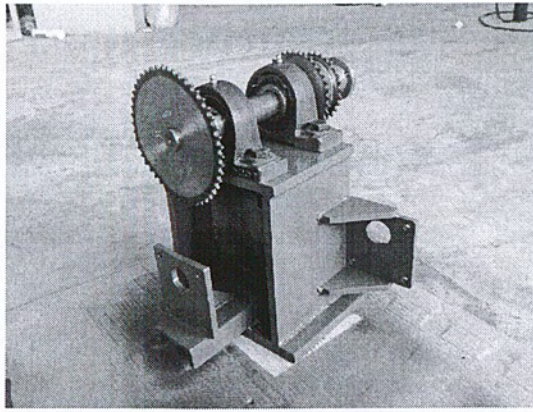
รูปที่ 3.3 ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์

3.2.2 ฐานรองเครื่องจักร ประกอบด้วย รางเลื่อน ขนาดกว้าง 17 cm ยาว 45 cm สามารถเลื่อนปรับระยะตัวเครื่องได้ 30 cm



รูปที่ 3.4 ฐานรองเครื่อง

3.2.3 ตัวโครง เป็นแผ่นเหล็ก 5 แผ่นเชื่อมต่อกัน ใช้เป็นตัวยึดมอเตอร์และเบรค มีขนาดกว้าง 15 cm ยาว 20 cm สูง 22 cm



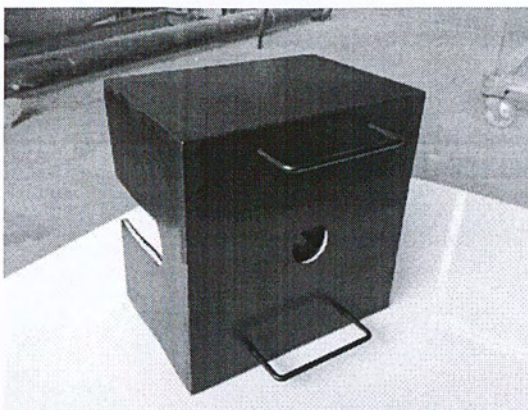
รูปที่ 3.5 ตัวโครงเครื่อง

3.2.4 ชุดแกนหมุน ประกอบด้วยเฟืองโซ่ 30 ฟัน เฟืองดอกจอก 18 ฟัน เพลานขนาด 2 cm เหล็กถ่วงน้ำหนัก และแม่พิมพ์ เป็นส่วนที่ติดตั้งแม่พิมพ์เพื่อใช้ในการขึ้นรูป โดยจะมีการหมุนสองแกนพร้อมๆ กัน เป็นส่วนสำคัญของเครื่อง



รูปที่ 3.6 ชุดแกนหมุน

3.2.5 ห้องปิด ทำด้วยแผ่นเหล็กทึบจนด้วยแผ่นยิปซัมหนา 1 cm เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อน ตัวห้องมีขนาดกว้าง 32 cm ยาว 32 cm สูง 32 cm



รูปที่ 3.7 ห้องปิด

3.2.6 แม่พิมพ์ (โมล) เป็นทรงกระบอก ใช้ขึ้นรูปพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm สูง 9.8 cm หน้า 0.4 cm

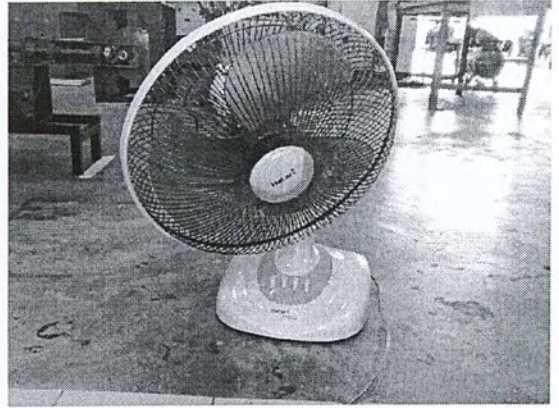


รูปที่ 3.8 แม่พิมพ์

3.2.7 ชุดให้ความร้อนและcooling ประกอบด้วย ถังแก๊ส LPG ขนาดความจุถึง 15 kg และหัวเป่าแก๊สขนาด 1.5 นิ้ว เป็นตัวให้ความร้อนแก่ผงพลาสติก ส่วนการcooling ใช้พัดลมขนาดใบพัด 16 นิ้ว



รูปที่ 3.9 ชุดให้ความร้อน



รูปที่ 3.10 พัดลมที่ใช้cooling

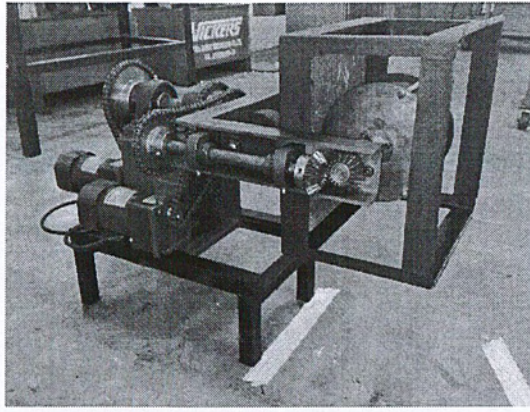
3.2.8 พงพลาสติก ใช้พวงพลาสติก ชนิด LLDPE (โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ) สีขาว ซึ่งโดยทั่วไปเป็นวัสดุที่ใช้ทำถังน้ำ กระถางต้นไม้พลาสติก และของเล่นเด็ก เป็นต้น



รูปที่ 3.11 พวงพลาสติกชนิด LLDPE

3.3 หลักการทำงานของเครื่องขึ้นรูปพลาสติก

เครื่องที่ออกแบบและสร้างขึ้นประกอบด้วยมอเตอร์สองตัว ใช้ขับเคลื่อนแกน และใช้ขับเคลื่อนแม่พิมพ์ โดยลักษณะของการหมุนของทั้งแกนและแม่พิมพ์เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมอเตอร์แต่ละตัวสามารถปรับความเร็วรอบให้แกนและแม่พิมพ์หมุนด้วยความเร็วที่แตกต่างกันได้ โดยความเร็วรอบที่หมุนอยู่ในช่วง 5-50 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.12 เครื่องขึ้นรูปพลาสติก

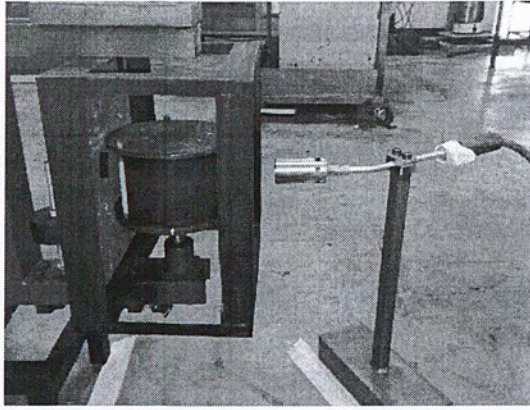


รูปที่ 3.13 ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 บรรจุผงพลาสติกตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้ 0.232 kg ในตัวแม่พิมพ์ ปิดแม่พิมพ์ให้แน่น

3.4.2 เปิดมอเตอร์ ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ทั้งสองตัวให้ได้ความเร็วที่ต้องการ จากนั้นเปิดแก๊ส LPG โดยวางตำแหน่งหัวเป่าแก๊สที่ด้านหน้าของเครื่อง ห่างจากตัวแม่พิมพ์ 7 cm



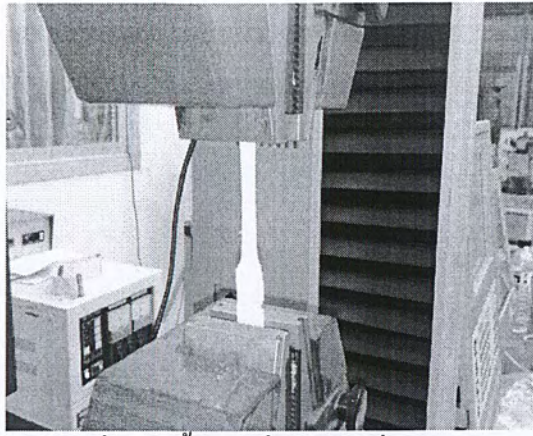
รูปที่ 3.14 ตำแหน่งหัวเป่าแก๊สในการทดลอง

3.4.3 ทำการทดลองขึ้นรูปพลาสติกแบบห้องเปิดซึ่งมีรูปร่างเป็นรูปทรงกระบอก โดยแปรเปลี่ยนความเร็วรอบต่างๆกัน ณ ที่เวลาครั้งที่ 10 นาที จากนั้น cooling ด้วยพัดลม 30 นาที แล้วจึงนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

3.4.4 เลือกความเร็วรอบที่ขึ้นรูปได้สมบูรณ์มาทดลองขึ้นรูปชิ้นงานแบบห้องเปิดและห้องปิด โดยแปรเปลี่ยนระยะเวลาให้ความร้อนเป็น 7, 10, 13 นาที ในระบบเปิด และใช้เวลา 6, 9, 12 นาที ในระบบปิดจากนั้นจึงนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D638-04 แล้วคำนวณหาค่าความเค้นเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการให้ความร้อนกับความต้านแรงดึง (Tensile Strength) ของชิ้นงาน โดยชิ้นงานที่จะทดสอบตัดมาจากส่วนหนึ่งของผนังด้านข้างของชิ้นงานที่ขึ้นรูปเป็นรูป T-Bone มีขนาดประมาณ กว้าง 1.5 cm ยาว 5 cm หนา 4 mm (มาตรฐาน ASTM D638-04)



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างชิ้นงานที่จะทดสอบแรงดึง



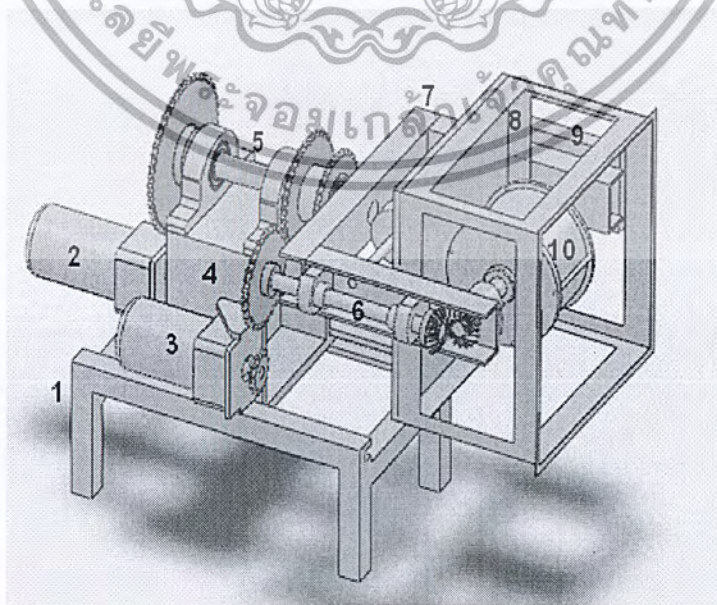
รูปที่ 3.16 ชิ้นงานที่ดึงด้วยเครื่องUTM

3.4.5 เปรียบเทียบค่าการประหยัดเชื้อเพลิงระหว่างการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แบบเปิดกับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ภายในห้องปิด

3.4.6 ขึ้นรูปชิ้นงานภายในห้องปิดโดยแปรเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนเป็น 6, 7, 8, 9 และ 12 นาทีตามลำดับ จากนั้นจึงนำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการให้ความร้อนกับความเค้นประลัยที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน

3.5 การเขียนแบบเครื่องขึ้นรูปพลาสติก

เมื่อออกแบบคำนวณชิ้นส่วนต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือ นำชิ้นส่วนที่ได้ ออกแบบมาเขียนแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks เพื่อเป็นเครื่องต้นแบบ โดยแบบเขียนแสดงขนาด ส่วนประกอบของเครื่องได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.



รูปที่ 3.17 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกที่ออกแบบด้วยโปรแกรม SolidWorks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของเครื่อง

1. ฐานเลื่อน
2. มอเตอร์ขับเคลื่อน
3. มอเตอร์ขับเคลื่อนแม่พิมพ์
4. ตัวโครง
5. เพลขับเคลื่อน
6. เพลขับเคลื่อนแม่พิมพ์
7. ชุดแขนหมุน
8. โครงห้องปิด
9. เหล็กถ่วงน้ำหนัก
10. แม่พิมพ์



บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานที่ความเร็วต่างๆในห้องเปิด

ตารางที่ 4.1 แสดงความเร็วรอบที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน

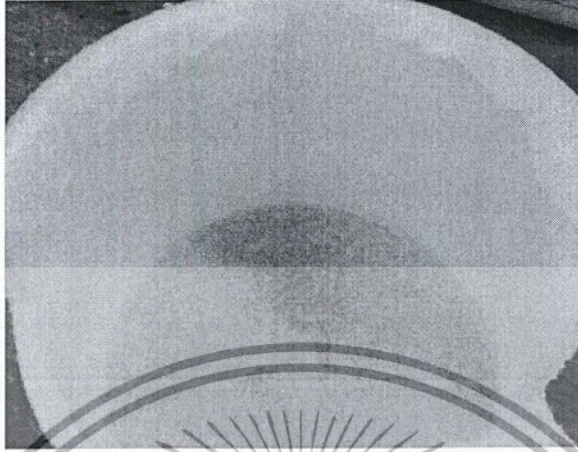
		ความเร็วแม่พิมพ์ (RPM)								
		8	10	12	14	16	18	20	22	24
ความเร็วแกน (RPM)	8	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	10	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	12	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	14	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	16	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	18	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	20	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	22	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	24	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ ขึ้นรูปสมบูรณ์ ■ ขึ้นไม่รูปสมบูรณ์

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานโดยแปรเปลี่ยนความเร็วของแกนและความเร็วของแม่พิมพ์ ในช่วงความเร็วต่างๆกัน พบว่ามีชิ้นงานที่สามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์ 10 ชิ้น หรือ 10 ความเร็วรอบ ซึ่ง

แสดงในตารางที่ 4.1 และขนาดความหนาของชิ้นงานที่ขึ้นรูปสมบูรณ์ ได้แสดงในตารางที่ 4.4 ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก โดยชิ้นงานที่ขึ้นรูปสมบูรณ์จะต้องมีผนังและฐานที่หนาสม่ำเสมอและมีสีขาว ชิ้นงานที่
 สุกเกินไปจะเกิดฟองอากาศมีรอยไหม้ ส่วนชิ้นงานที่ไม่สุกผงพลาสติกจะหลอมละลายไม่หมดผนัง
 ชิ้นงานจะบาง



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างชิ้นงานที่ไม่สุก



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างชิ้นงานสมบูรณ์

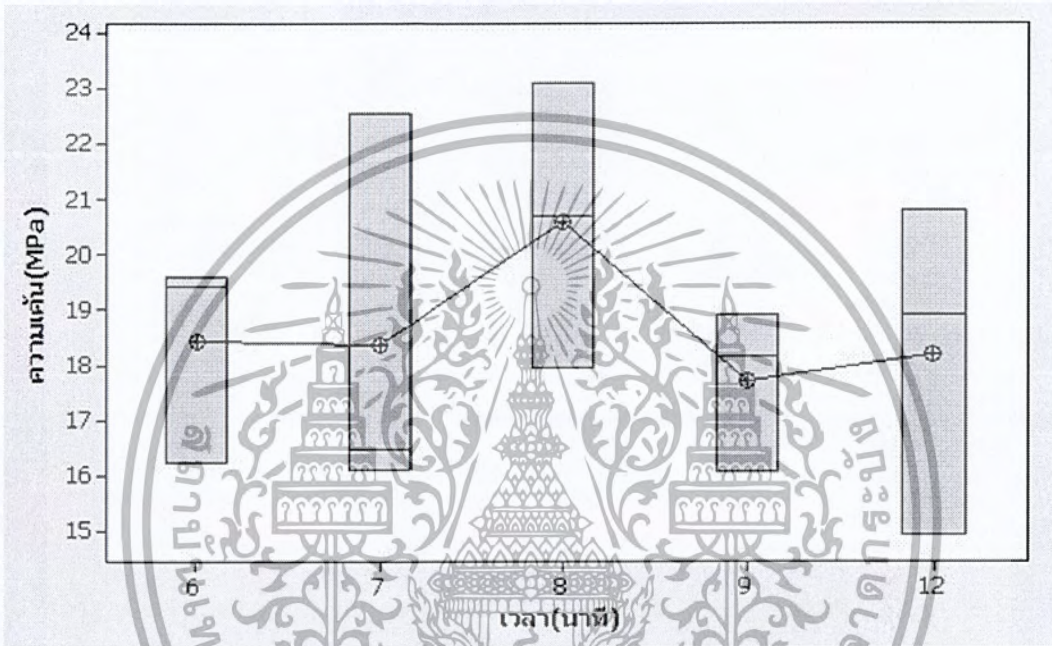


รูปที่ 4.3 ตัวอย่างชิ้นงานที่สุกเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

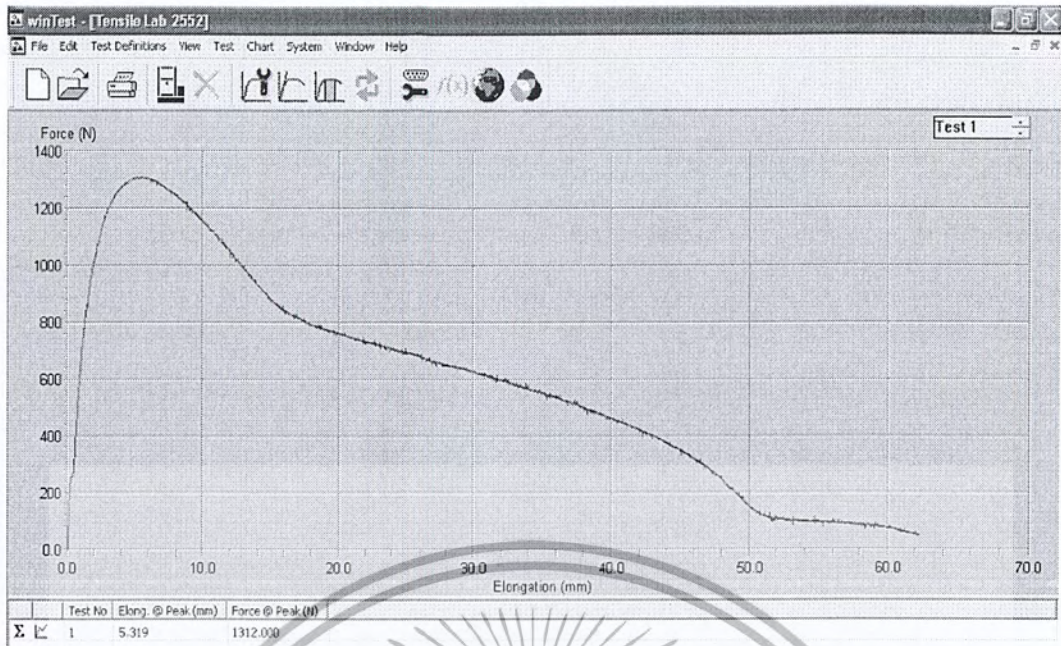
4.2 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานที่ในห้องปิด

เมื่อขึ้นรูปในห้องเปิดเรียบร้อยแล้ว ชิ้นงานที่สมบูรณ์ 3 ชิ้นที่ถูกขึ้นรูปในความเร็วรอบ (ความเร็วรอบของแกนหมุน/ความเร็วรอบของแม่พิมพ์) 8/10, 10/22 และ 20/24 rpm จะทดลองขึ้นรูปในห้องปิดโดยเปลี่ยนเวลาในการให้ความร้อนเป็น 6, 7, 8, 9 และ 12 นาที เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและเวลา



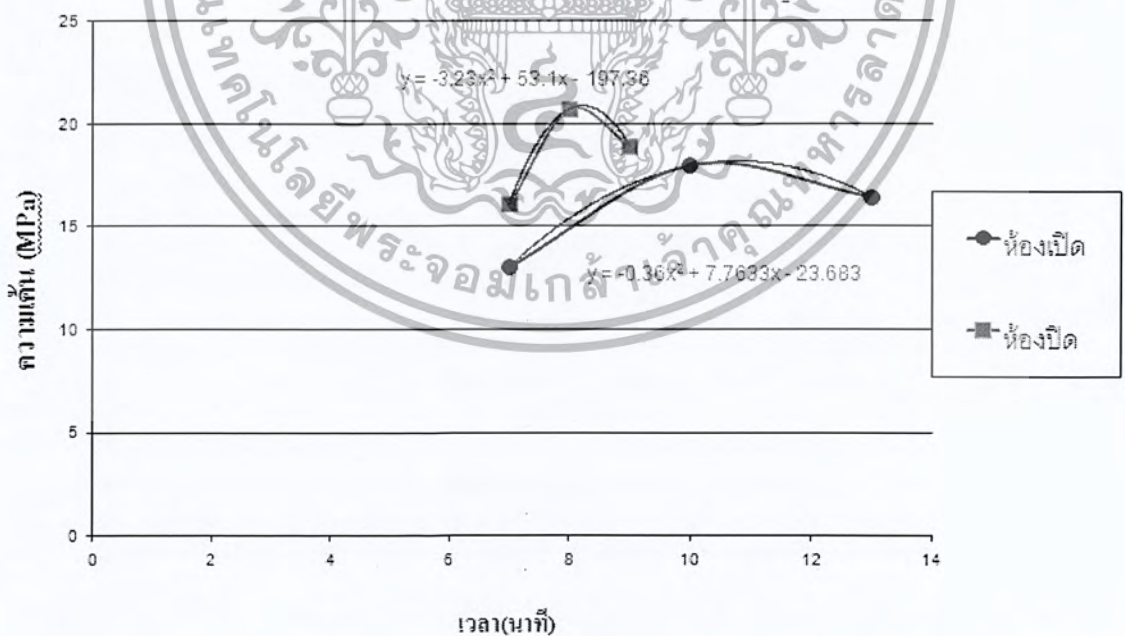
รูปที่ 4.4 กราฟ Boxplot ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและเวลาที่ขึ้นรูปในห้องปิด

จากกราฟรูปที่ 5.4 แต่ละช่วงเวลาในการให้ความร้อนที่ 6, 7, 8, 9 และ 12 นาที ซึ่งในแต่ละเวลาจะมีค่าความเค้น 3 ค่า ที่ขึ้นรูปด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน (ความเร็วรอบของแกนหมุน/ความเร็วรอบของแม่พิมพ์) คือ 8/10, 10/22 และ 20/24 rpm แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละ Box แล้วจึง Plot Graph ซึ่งกราฟนี้แสดงให้เห็นว่าความเค้นจะสูงที่สุดขณะที่พลาสติกสุกกำลังดีที่เวลา 8 นาที ถ้าพลาสติกสุกมากเกินไป หรือน้อยเกินไปจะทำให้ความเค้นลดลง ชิ้นงานมีคุณภาพที่ต่ำลงซึ่งจะเห็นว่าความเค้นจะลดลงค่อนข้างเป็นความเค้นที่ค่าๆหนึ่งทั้งไม่สูงและสูงเกินไปซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับการขึ้นรูปเพราะจากกราฟเวลาลดลงเพียง 1 นาที หรือ มากกว่า 1 นาที กลับทำให้ค่าความเค้นลดลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืด (ชิ้นงานขึ้นรูปที่ความเร็ว 8/10rpm ห้องเปิด)

4.3 ผลการเปรียบเทียบการขึ้นรูปชิ้นงานระหว่างห้องเปิดและห้องปิด



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและเวลาที่ขึ้นรูปภายในห้องเปิดและห้องปิดที่ความเร็ว 8/10 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟนี้เป็นกราฟที่แสดงให้เห็นว่า การขึ้นรูปพลาสติกภายในห้องปิดจะสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าการขึ้นรูปพลาสติกภายในห้องเปิด ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีค่าความเค้นเท่ากัน สมการที่ได้จากกราฟของห้องปิด $y = -3.23x_1^2 + 53.1 x_1 - 197.3$ และห้องเปิด $y = -0.36x_2^2 + 7.7633 x_2 - 23.683$

เนื่องจากว่าเราต้องการหา % การประหยัดพลังงานของห้องปิดเทียบห้องเปิด เราจึงเลือกเวลาที่ขึ้นงานสุดพอดีของระบบเปิดในการเทียบจึงใช้เวลา 9 นาที 55 วินาที (x_2) แล้วนำเวลาไปหาค่าความเค้นในสมการของห้องเปิด ซึ่งค่าที่ได้คือ $y = 17.9$ MPa แทนค่าความเค้น $y = 17.9$ MPa ลงในสมการของห้องปิดเพื่อหาค่าเวลาที่ต่างกันระหว่าง ห้องเปิดและห้องปิดเพื่อนำมาเปรียบเทียบหาการประหยัดพลังงานระหว่างระบบเปิดและระบบปิด

$x_1 = 7.25$ ซึ่งแปลงเป็นเวลาจะเป็น 7 นาที 15 วินาที

$x_2 = 9.92$ ซึ่งแปลงเป็นเวลาจะเป็น 9 นาที 55 วินาที

$$\% \text{การประหยัดพลังงาน} = \frac{(9.92 - 7.25)}{9.92} \times 100 = 26.92\%$$

4.4 สรุปและข้อเสนอแนะ

4.4.1 สรุปผลการทดลอง

1. เครื่องจักรที่ออกแบบและสร้างขึ้นสามารถขึ้นรูปพลาสติกได้จริง ทำงานได้โดยไม่เกิดปัญหาใดๆ ซึ่งเครื่องจักรเครื่องนี้สามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์ที่ความเร็วรอบ 8/10, 8/20, 8/22, 8/24, 10/22, 10/24, 18/20, 18/24, 20/22, 20/24 (แกน/แม่พิมพ์) โดยมีความหนาเท่ากับ 4.3, 4.5, 5.0, 4.5, 4.9, 4.8, 4.5, 4.3, 4.3 และ 4.5mm ตามลำดับ
2. จากกราฟจะทำให้เราเห็นว่าพลาสติกนั้นจะมีค่าความแข็งแรงสูงสุดขณะพลาสติกสุกกำลังดี (Cooking) ถ้าเกิดว่าไม่สุก (Under Cooked) จะมีค่าความเค้นน้อยกว่าที่ควรจะเป็นหรือถ้าสุกมากเกินไป (Over Cooked) ก็จะมีค่าความเค้นน้อยเช่นเดียวกัน ซึ่งค่าความเค้นจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ จากจุดสูงสุดของกราฟ เมื่อถึงจุดๆ หนึ่งการลดลงของค่าความเค้นจะลดลงอย่างรวดเร็วโดยการทดลองนี้ จะมีการให้ค่าความร้อนคงที่ ความเร็วคงที่ และแม่พิมพ์เป็นรูปทรงเดียวกัน เวลาที่ทำให้ขึ้นงานสุด

กำลังคิของห้องเปิดและห้องปิดจะอยู่ที่ 10 และ 8 นาที ตามลำดับ ซึ่งค่าความเค้นสูงสุดที่ได้ของห้องเปิดคือ 17.95 MPa ส่วนค่าความเค้นของห้องปิดที่ได้คือ 20.72 MPa

3. จากการเปรียบเทียบกราฟความเค้นกับเวลาระหว่างการขึ้นรูปแบบห้องเปิดและแบบห้องปิด พบว่าการขึ้นรูปแบบห้องปิดสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่าการขึ้นรูปแบบห้องเปิด 26.92%

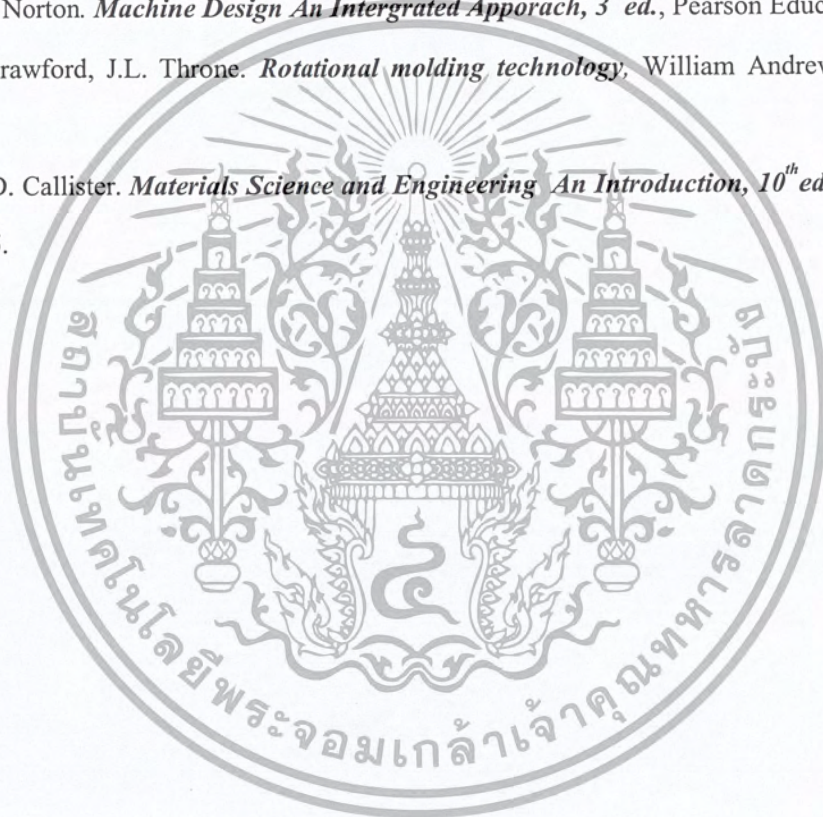
4.4.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. แม่พิมพ์ควรจะมีขนาดใหญ่ และมีรูปทรงต่างๆ มากขึ้น
2. ควรปรับปรุงเครื่องจักรให้สามารถควบคุมอุณหภูมิความร้อนได้ และสามารถอ่านค่าอุณหภูมิจากในแม่พิมพ์ได้
3. เปลี่ยนตัวให้ความร้อนเป็นขดลวดฮีตเตอร์ หรือ ใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อน
4. ปรับปรุงเครื่องโดยติดตั้งเครื่องอัดความดัน เพื่อช่วยในการขึ้นรูป



เอกสารอ้างอิง

- [1] มนตรี พิรุณเกษตร, รศ..กลศาสตร์ของวัสดุ. กรุงเทพฯ : วิทย์พัฒนา, 2550.
- [2] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, ศ.ดร. และ ชาญุ ถนัดงาน, รศ..การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2551.
- [3] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, ศ.ดร. และ ชาญุ ถนัดงาน, รศ..การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2552.
- [4] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett. *Shigley's Mechanical Engineering Design, 8th ed.*, McGraw Hill.
- [5] Robert L. Norton. *Machine Design An Intergrated Approach, 3rd ed.*, Pearson Education, 2006.
- [6] Roy J. Crawford, J.L. Throne. *Rotational molding technology*, William Andrew Publishing, 2002.
- [7] William D. Callister. *Materials Science and Engineering An Introduction, 10th ed.*, John Wiley & Sons, 2005.



ตารางที่ ก.1 ผลการทดสอบแรงดึงกับระยะเวลาการให้ความร้อนในห้องปิด

ความเร็วรอบ แขน 8 แม่มิพท์ 10 (RPM) แบบห้องปิด		
เวลาในการให้ความร้อน(min)	แรงดึงสูงสุด Tensile force(N)	ความต้านแรงดึง Tensile Strength (MPa)
6	1249	16.23
7	1354	16.07
8	1492	20.72
9	1216	18.91
12	1408	18.90
ความเร็วรอบ แขน 10 แม่มิพท์ 22 (RPM) แบบห้องปิด		
เวลาในการให้ความร้อน(min)	แรงดึงสูงสุด Tensile force(N)	ความต้านแรงดึง Tensile Strength (MPa)
6	1461	19.61
7	1251	16.48
8	1490	17.95
9	1290	18.17
12	1178	14.92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วรอบ แขน 20 แม่พิมพ์ 24 (RPM) แบบห้องปิด		
เวลาในการให้ความร้อน(min)	แรงดึงสูงสุด Tensile force(N)	ความต้านแรงดึง Tensile Strength (MPa)
6	1400	19.44
7	1321	22.56
8	1387	23.12
9	1245	16.05
12	1378	20.80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ผลการทดสอบแรงดึงกับระยะเวลาการให้ความร้อนในห้องเปิด

ความเร็วรอบ แขน 8 แม่พิมพ์ 10 (RPM) แบบห้องเปิด		
เวลาในการให้ความร้อน(min)	แรงดึงสูงสุด Tensile force (N)	ความต้านแรงดึง Tensile Strength (MPa)
7	1167	13.02
10	1560	17.95
13	1312	16.40

ตารางที่ ก.3 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและเวลาระหว่างห้องเปิดและห้องปิดที่
ความเร็ว 8/10rpm

ความเร็วรอบ แขน 8 แม่พิมพ์ 10 (RPM)			
แบบห้องเปิด		แบบห้องปิด	
เวลา(min)	ความต้านแรงดึง (MPa)	เวลา (min)	ความต้านแรงดึง (MPa)
7	13.02	7	16.07
10	17.95	8	20.72
13	16.4	9	18.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ความหนาของชิ้นงานที่ขึ้นรูปสมบูรณ์

ความเร็วที่ขึ้นรูป (แกน/แม่พิมพ์) ความหนาชิ้นงาน	ฐานชิ้นงาน(mm)	ผนังชิ้นงาน(mm)
8/10	1.05	4.3
8/20	1.05	4.5
8/22	1.45	5.0
8/24	1.85	4.5
10/22	0.95	4.9
10/24	1.15	4.8
18/20	1.50	4.5
18/24	0.80	4.3
20/22	1.70	4.3
20/24	1.75	4.5

ตารางที่ ก.5 ปริมาณแก๊สที่ใช้

เวลา(นาที)	ปริมาณแก๊สที่ใช้ (kg)	พลังงานความร้อน (BTU) $E=m.Q$
6	0.035	1649.76
7	0.040	1885.44
8	0.045	2121.12
9	0.050	2356.80
10	0.055	2592.48
12	0.065	3063.84
13	0.075	3535.20

$$\text{LPG(Propane 30\% : Butane70\%)} = 47136 \text{ BTU/kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

Fluid	Convection Heat Transfer Coefficient, $h_{\text{convection}}$	
	$\times 10^{-3} \text{ W/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$	Btu/ft ² hr $^\circ\text{F}$
Quiescent air	0.5 - 1	0.8 - 2
Air moved with fans	1 - 3	2 - 5
Air moved with blowers	3 - 10	5 - 20
Direct combustion gas impingement	6 - 10	10 - 20
Air and water mist	30 - 60	50 - 100
Fog	30 - 60	50 - 100
Water spray	30 - 90	50 - 150
Oil in pipes	30 - 180	50 - 300
Water in pipes	60 - 600	100 - 1,000
Steam in pipes, condensing	600 - 3,000	1,000 - 15,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ขนาดมาตรฐานของโซ่ลูกกลิ้งแถวเดียว

ANSI Chain Number	Pitch In(mm)	Width In(mm)	Minimum	Average	Roller Diameter In(mm)	Multiple Strand Spacing In(mm)
			Tensile	Weight		
			Strength Lbf(N)	Lbf/ft (N/m)		
25	0.250	0.125	780	0.09	0.130	0.252
	(6.35)	(3.18)	(3.470)	(1.31)	(3.30)	(0.64)
35	0.375	0.188	1760	0.21	0.200	0.399
	(9.52)	(4.76)	(7830)	(3.06)	(5.08)	(10.13)
41	0.500	0.25	1500	0.25	0.306	-
	(12.7)	(6.35)	(6670)	(3.65)	(7.77)	-
40	0.500	0.312	3130	0.42	0.312	0.566
	(12.70)	(7.94)	(13920)	(6.13)	(7.92)	(14.38)
50	0.625	0.375	4880	0.69	0.400	0.713
	(15.88)	(9.52)	(21700)	(10.1)	(10.16)	(18.11)
60	0.750	0.500	7030	1.00	0.469	0.897
	(19.05)	(12.7)	(31300)	(14.6)	(11.91)	(22.78)
80	1.000	0.625	12500	1.71	0.625	1.153
	(25.40)	(15.88)	(55600)	(25.0)	(15.87)	(29.29)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100	1.250	0.750	19500	2.58	0.750	1.409
	(31.75)	(19.05)	(86700)	(37.7)	(19.05)	(35.76)
120	1.500	1.000	28000	3.87	0.875	1.789
	(38.10)	(25.40)	(124500)	(56.5)	(22.22)	(45.44)
140	1.750	1.000	38000	4.95	1.000	1.924
	(44.45)	(25.40)	(169000)	(72.2)	(25.40)	(48.87)
160	2.000	1.250	50000	6.61	1.125	2.305
	(50.80)	(31.75)	(222000)	(96.5)	(28.57)	(58.55)
180	2.250	1.406	63000	9.06	1.406	2.592

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 แสดงอัตราส่งกำลังของงานขับ โซ่ที่มีฟัน 17 ซี่

Sprocket Speed Rev/min	ANSI Chain Number								
	25	35	40	41	50	60	80	100	120
50	0.05	0.16	0.37	0.20	0.72	1.24	2.88	5.52	9.33
100	0.09	0.29	0.69	0.38	1.34	2.31	5.38	10.3	17.4
150	0.13	0.41	0.99	0.55	1.92	3.32	7.75	14.8	25.1
200	0.16	0.54	1.29	0.71	2.50	4.30	10.0	19.2	32.5
300	0.23	0.78	1.85	1.02	3.61	6.20	14.5	27.7	46.8
400	0.30	1.01	2.40	1.32	4.67	8.03	18.7	35.9	60.6
500	0.37	1.24	2.93	1.61	5.71	9.81	22.9	43.9	74.1
600	0.44	1.46	3.45	1.90	6.72	11.6	27.0	51.7	87.3
700	0.50	1.68	3.97	2.18	7.73	13.3	31.0	59.4	89
800	0.56	1.89	4.48	2.46	8.71	15.0	35.0	63.0	72.8
900	0.62	2.10	4.98	2.74	9.69	16.7	39.9	52.8	61.0
1000	0.68	2.31	5.48	3.01	10.7	18.3	37.7	45.0	52.1
1200	0.81	2.73	6.45	3.29	12.6	21.6	28.7	34.3	39.6
1400	0.93	3.13	7.41	2.61	14.4	18.1	22.7	27.2	31.5
1600	1.05	3.53	8.36	2.14	12.8	14.8	18.6	22.3	25.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1800	1.16	3.93	8.96	1.79	10.7	12.4	15.6	18.7	21.6
2000	1.27	4.32	7.72	1.52	9.23	10.6	13.3	15.9	0
2500	1.56	5.28	5.51	1.10	6.58	7.57	9.56	0.40	-
3000	1.84	5.64	4.17	0.83	4.98	5.76	7.25	0	-

ตารางที่ ข.4 แฟกเตอร์แก้จำนวนฟันที่ไม่เท่ากับ 17 ซี่

Number of Teeth on Driving Sprocket	K_1 Pre-extreme	K_1 Post-extreme
	Horsepower	Horsepower
11	0.62	0.52
12	0.69	0.59
13	0.75	0.67
14	0.81	0.75
15	0.87	0.83
16	0.94	0.91
17	1.00	1.00
18	1.06	1.09
19	1.13	1.18
20	1.19	1.28
N	$(N_1/N_2)^{1.08}$	$(N_1/17)^{1.5}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 แฟกเตอร์แก้จำนวนแถวของโซ่ลูกกลิ้ง

Number of Strands	K_2
1	1.0
2	1.7
3	2.5
4	3.3
5	3.9
6	4.6
8	6.0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 แนวทางในการเลือกอายุการใช้งานสำหรับเครื่องจักรกลชนิดต่างๆ

ชนิดของเครื่องจักรกล	อายุเป็นชั่วโมงทำงาน
เครื่องมือวัดและเครื่องมือที่ใช้ไม่บ่อยนัก เช่น เครื่องมือสำหรับห้องทดลอง	500
เครื่องยนต์เครื่องบิน	500-2000
เครื่องจักรสำหรับใช้งานช่วงเวลาสั้นๆ เช่น เครื่องจักรกลการเกษตร	4000-8000
เครื่องจักรสำหรับใช้งานเป็นพักๆแต่มีความสำคัญต่องานที่ทำมาก เช่น ลิฟท์	8000-12000
เครื่องจักรที่ใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ไม่ได้ทำงานเต็มที่ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า	12000-20000
เครื่องจักรที่ใช้งาน 8 ชั่วโมง แต่ทำงานเต็มที่ เช่น เพลาส่งกำลัง เครื่องเป่าลม	20000-30000
เครื่องจักรที่ใช้งานต่อเนื่อง(ทำงาน 24 ชั่วโมง) เช่น เครื่องอัดอากาศ	40000-60000
เครื่องจักรที่ใช้งานตลอด เช่น เครื่องจักรในเรือเดินสมุทร	100000-200000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

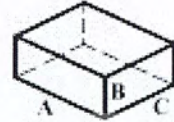
ตารางที่ ข.7 ปริมาตรและพื้นที่ผิวสำหรับแม่พิมพ์รูปทรงต่างๆ (กำหนดความหนาของผนังชิ้นงานเท่ากับ h)



Cube (side = A)	
Mold Volume	A^3
Plastic Volume	$[A^3 - (A-2h)^3]$
Mold Surface Area	$6A^2$

Rectangular box (sides A, B, C)

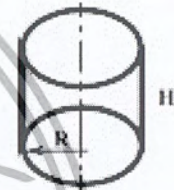
Mold Volume	ABC
Plastic Volume	$[ABC - (A-2h)(B-2h)(C-2h)]$
Mold Surface Area	$2AB + 2BC + 2CA$



Sphere (radius, R)	
Mold Volume	$(4\pi/3)R^3$
Plastic Volume	$(4\pi/3)[R^3 - (R-h)^3]$
Mold Surface Area	$4\pi R^2$

Cylinder (radius, R ; height, H)

Mold Volume	$\pi R^2 H$
Plastic Volume	$\pi[R^2 H - (R-h)^2 (H-2h)]$
Mold Surface Area	$2\pi R^2 + 2\pi R H$



Right cone (radius, R ; height, H)	
Mold Volume	$(\pi/3)R^2 H$
Plastic Volume	$(\pi/3)[R^2 H - (R-h-Rh/H)^2 (H(R-h)(R-h))]$
Mold Surface Area	$\pi R^2 + \pi R \sqrt{R^2 + H^2}$

Right bicone (radius, R ; height, H)

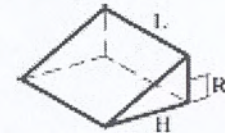
Mold Volume	$(2\pi/3)R^2 H$
Plastic Volume	$(2\pi/3)[R^2 H - (R-h)^2 H/R]$
Mold Surface Area	$2\pi R \sqrt{R^2 + H^2}$



Right bicone + cylinder (radius, R ; height, H ; length, L)	
Mold Volume	$\pi R^2 L + (2\pi/3)R^2 H$
Plastic Volume	$\pi[R^2 L - (R-h)L + (2/3)R^2 H - (2/3)(R-h)^2 H/R]$
Mold Surface Area	$2\pi R \sqrt{R^2 + H^2} + 2\pi R L$

Right wedge (half base, R ; height, H ; length, L)

Mold Volume	RHL
Plastic Volume	$RHL - (L-2h)[(R-h-Rh/H)(H(1-h/R)-h)]$
Mold Surface Area	$2RH + 2RL + LH + L\sqrt{4R^2 + H^2}$

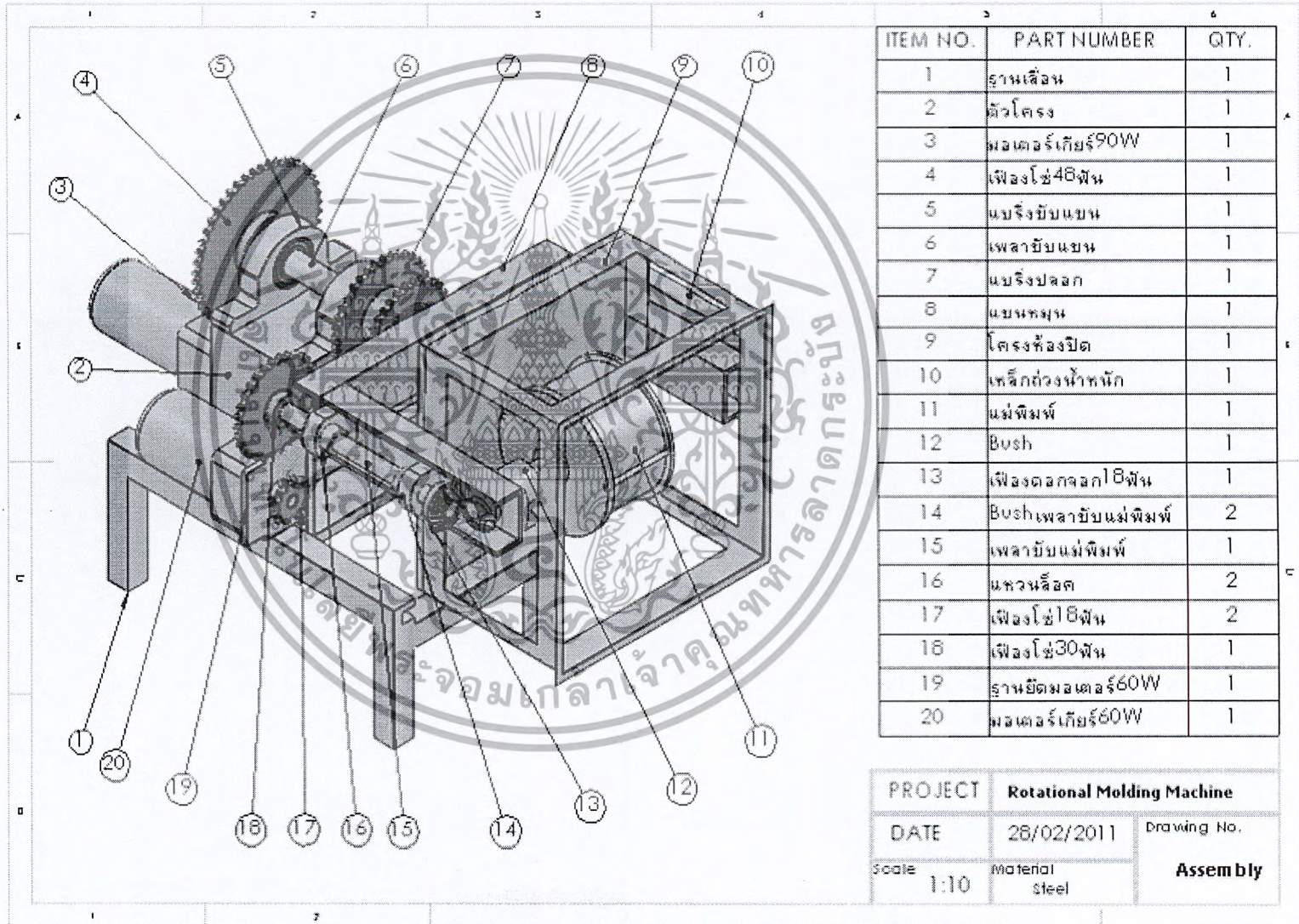


Ellipsoid (semi axes, A, B, C)	
Mold Volume	$(4\pi/3)ABC$
Plastic Volume	$(4\pi/3)[ABC - (A-h)(B-h)(C-h)]$
Mold Surface Area	No simple equation

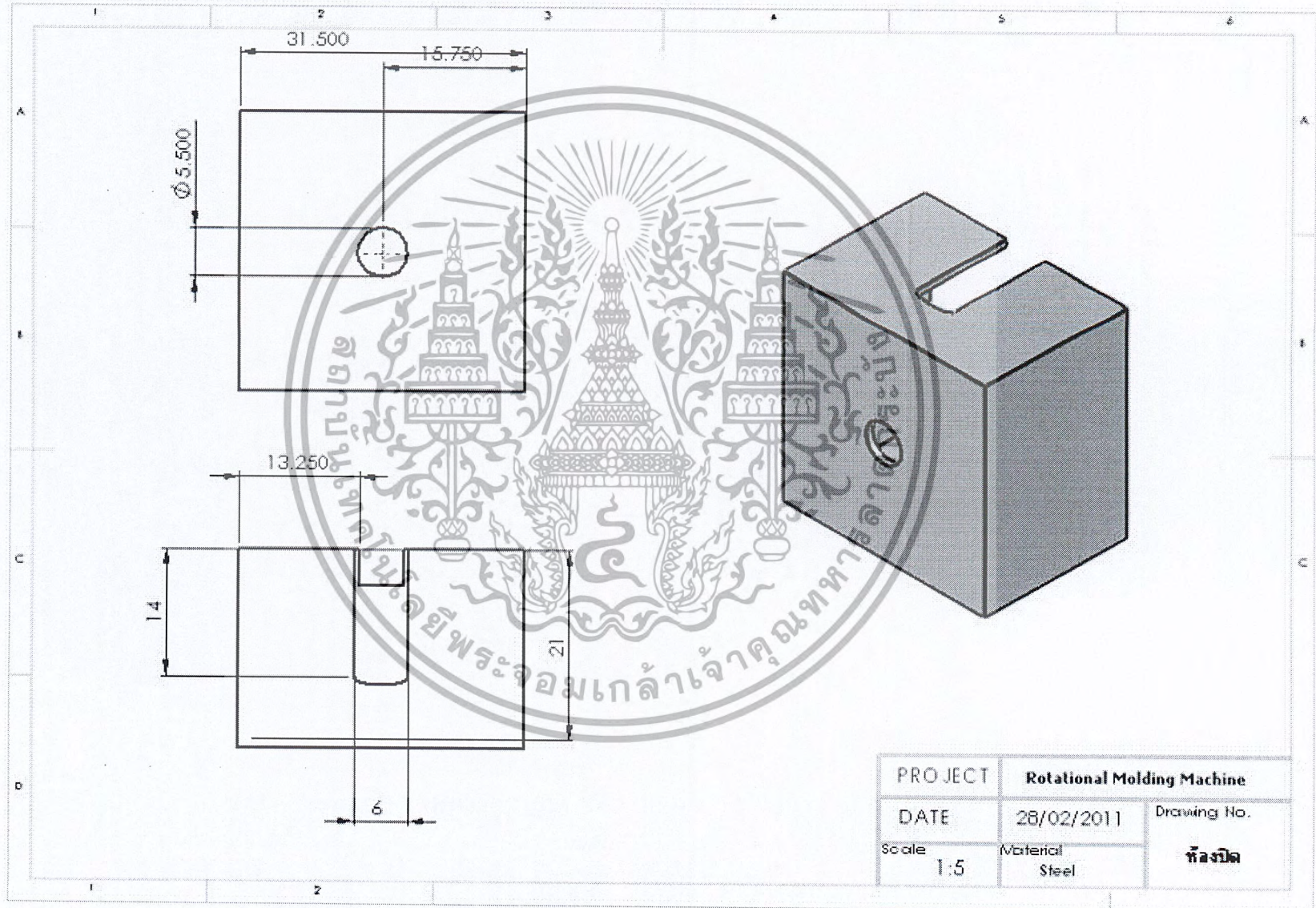


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

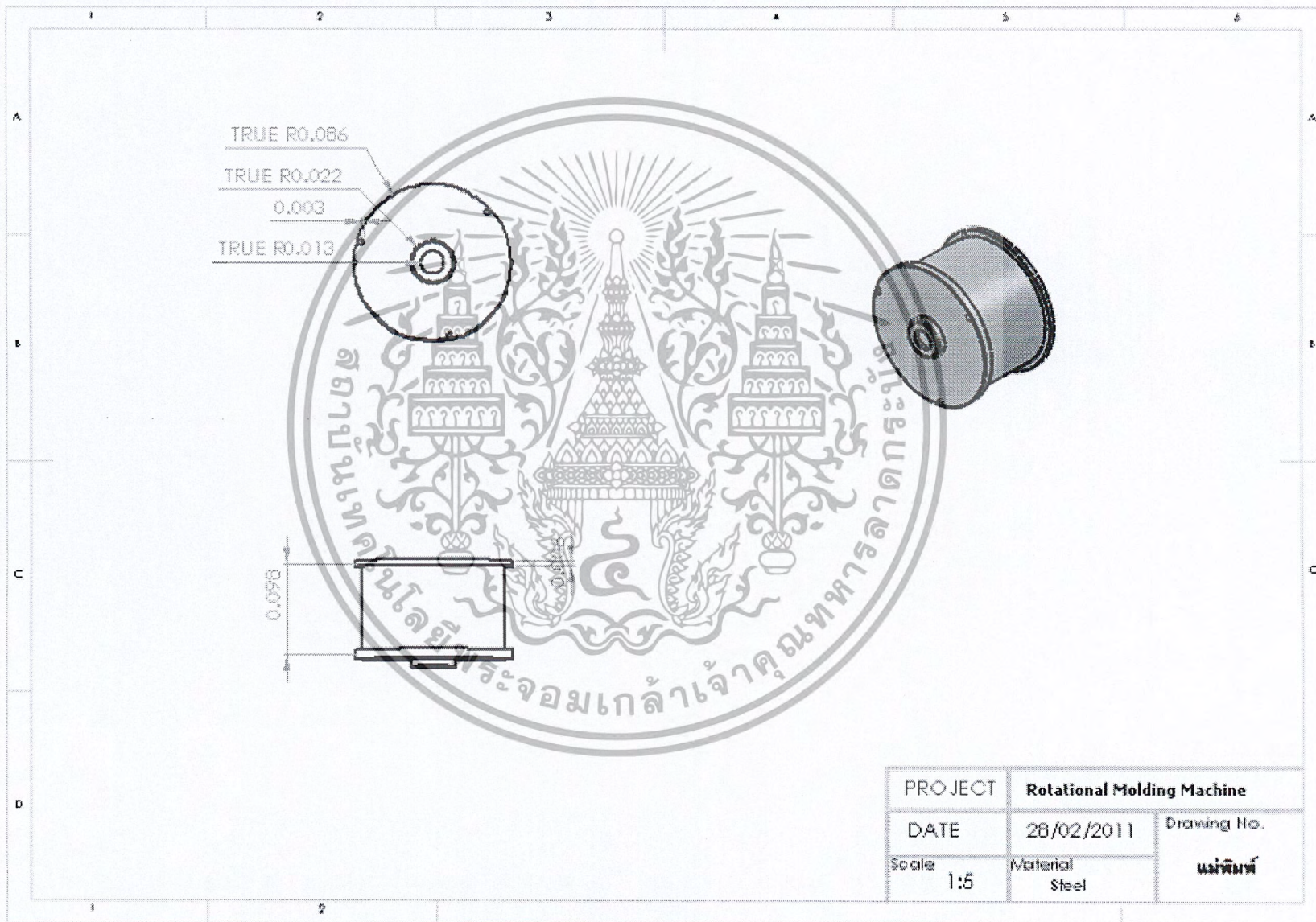
รูปที่ค.1 แบบประกอบของเครื่องขึ้นรูปพลาสติก



รูปที่ ค.2 แบบเขียนและขนาดของห้องปิด

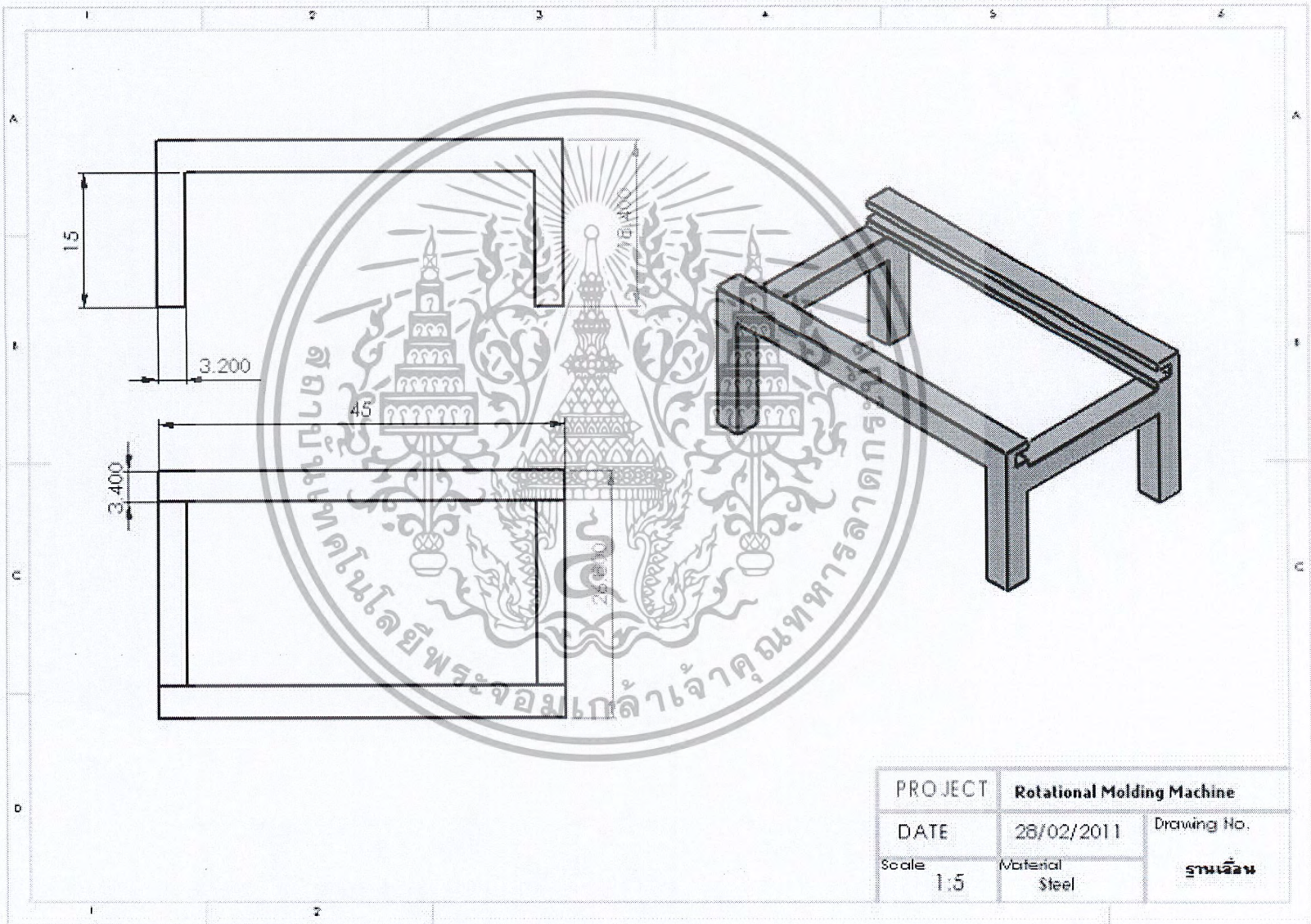


รูปที่ ค.3 แบบเขียนและขนาดของแม่พิมพ์



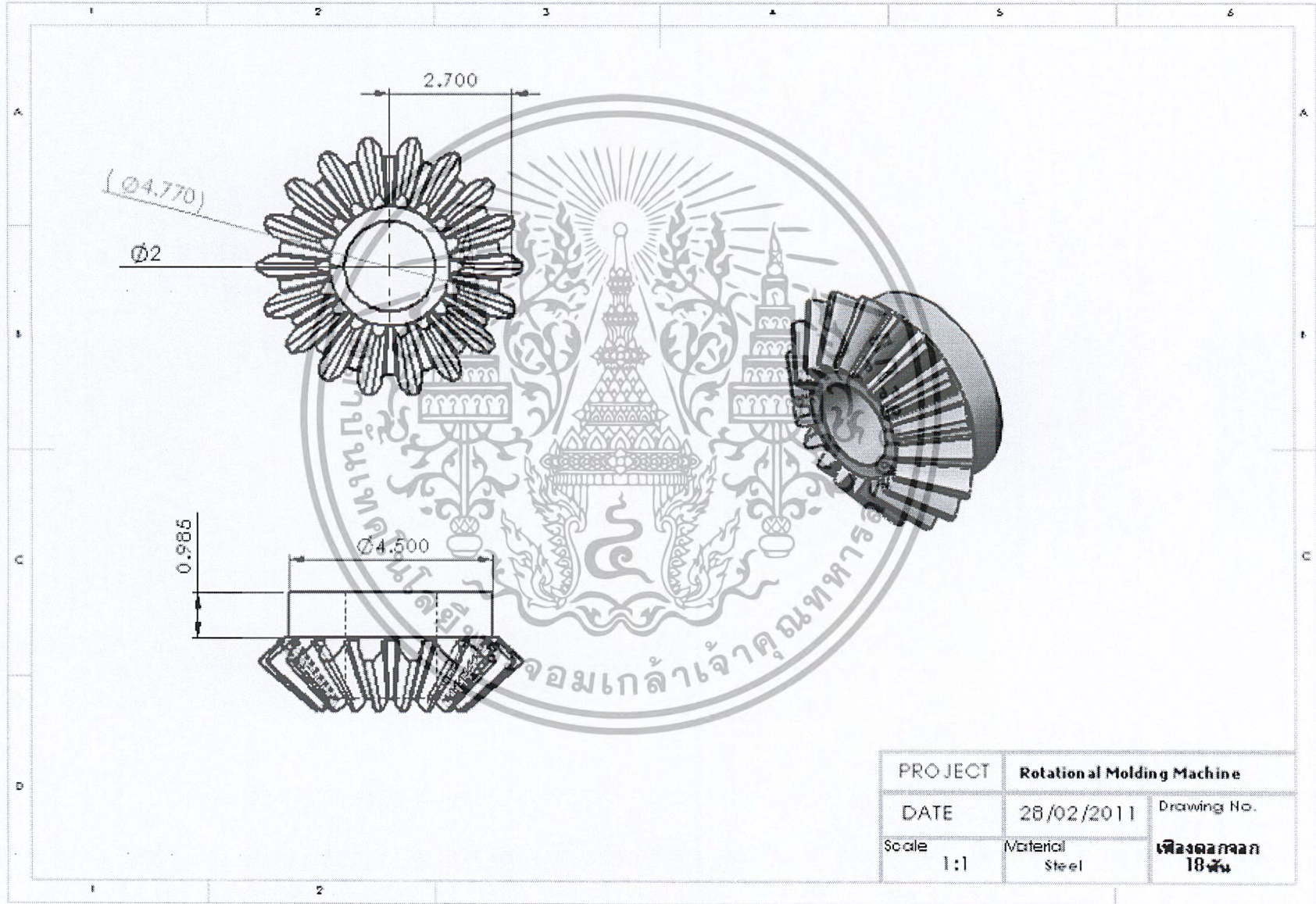
PROJECT	Rotational Molding Machine	
DATE	28/02/2011	Drawing No.
Scale	1:5	แม่พิมพ์
	Material	Steel

รูปที่ ค.4 แบบเขียนและขนาดของฐานเตา

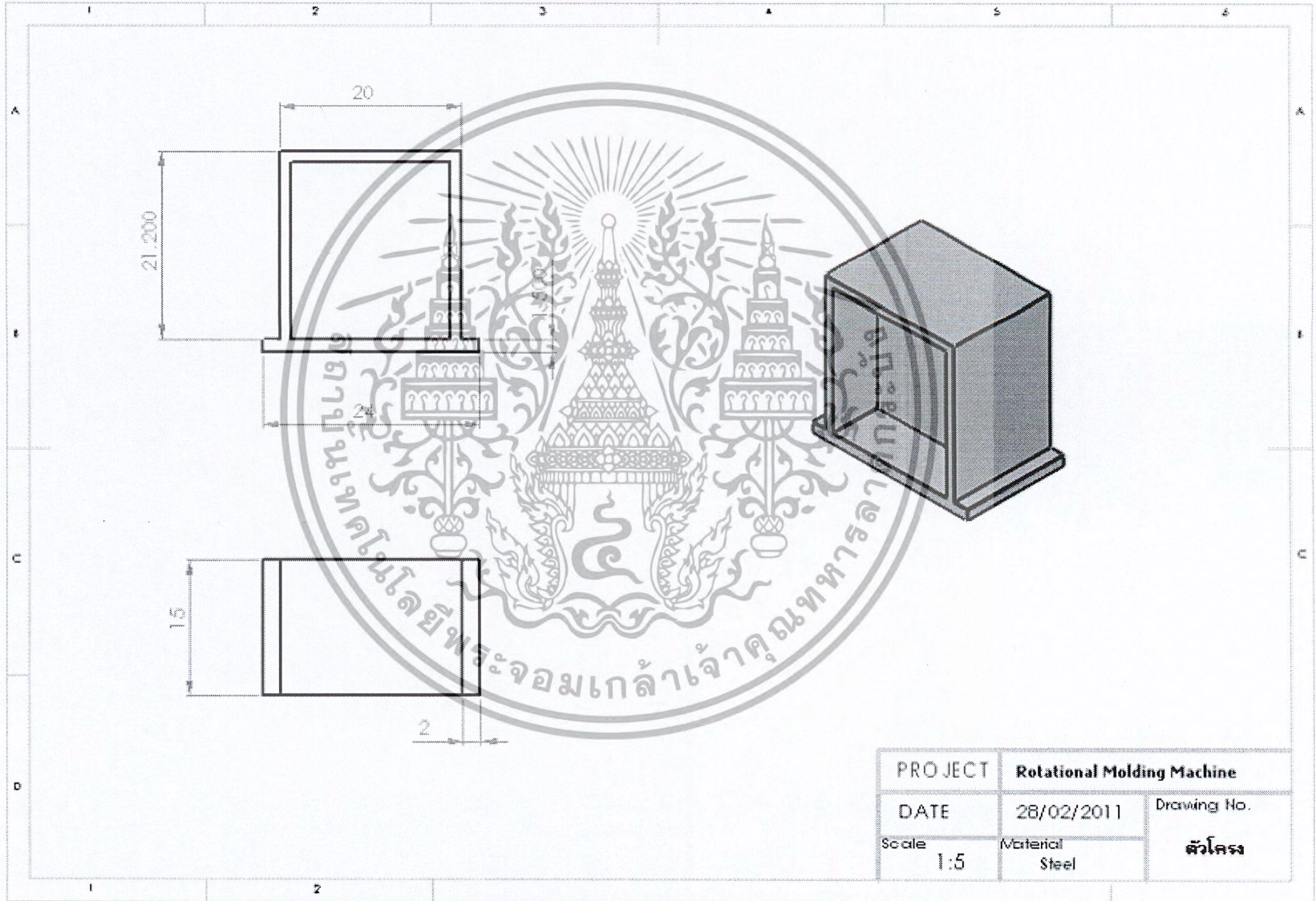


PROJECT	Rotational Molding Machine	
DATE	28/02/2011	Drawing No.
Scale	1:5	Material Steel
		ฐานเตา

รูปที่ ค.ร. แบบเขียนและขนาดของเฟืองคอกจอก

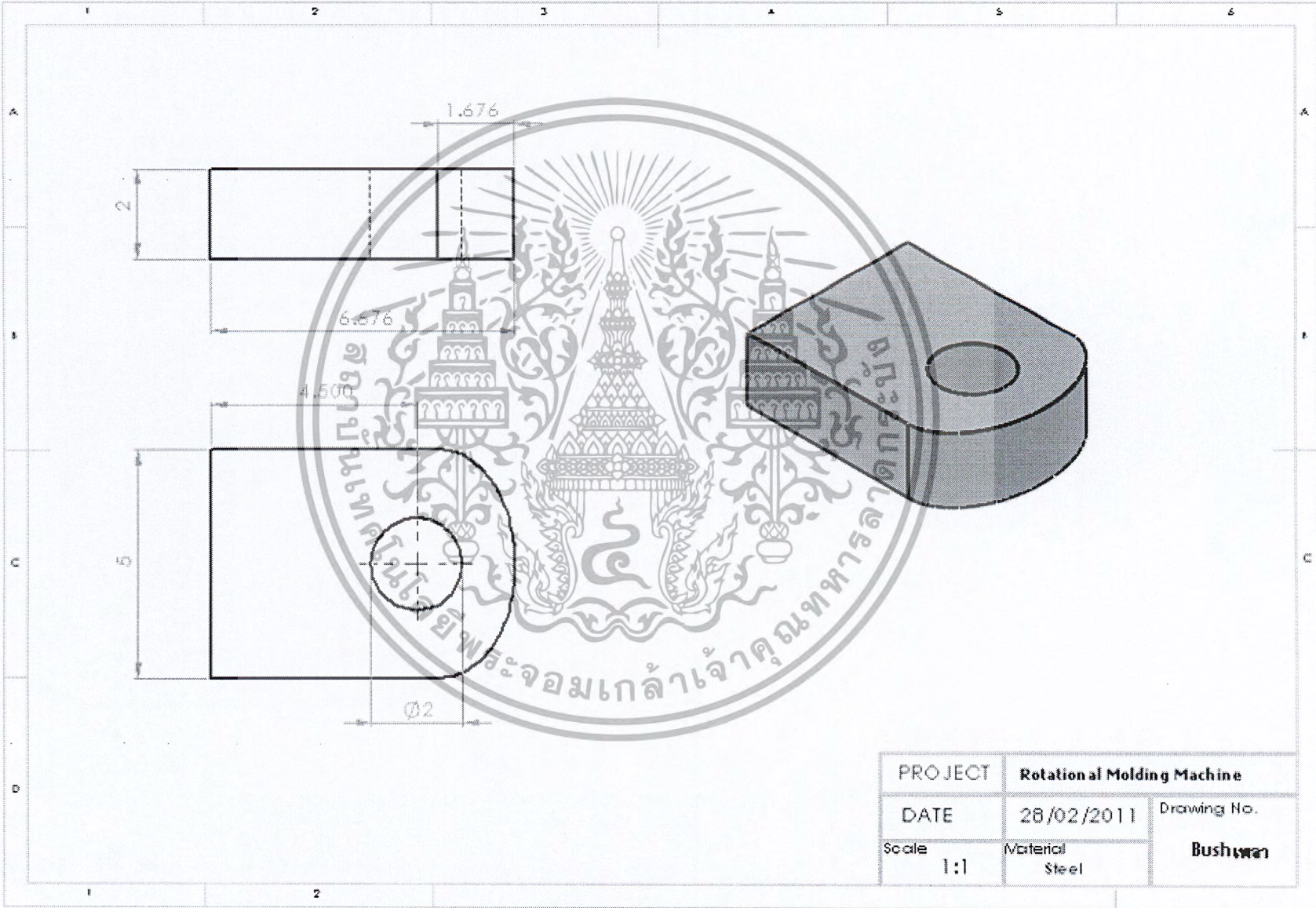


รูปที่ 6: วัสดุและขนาดของตัวโครง



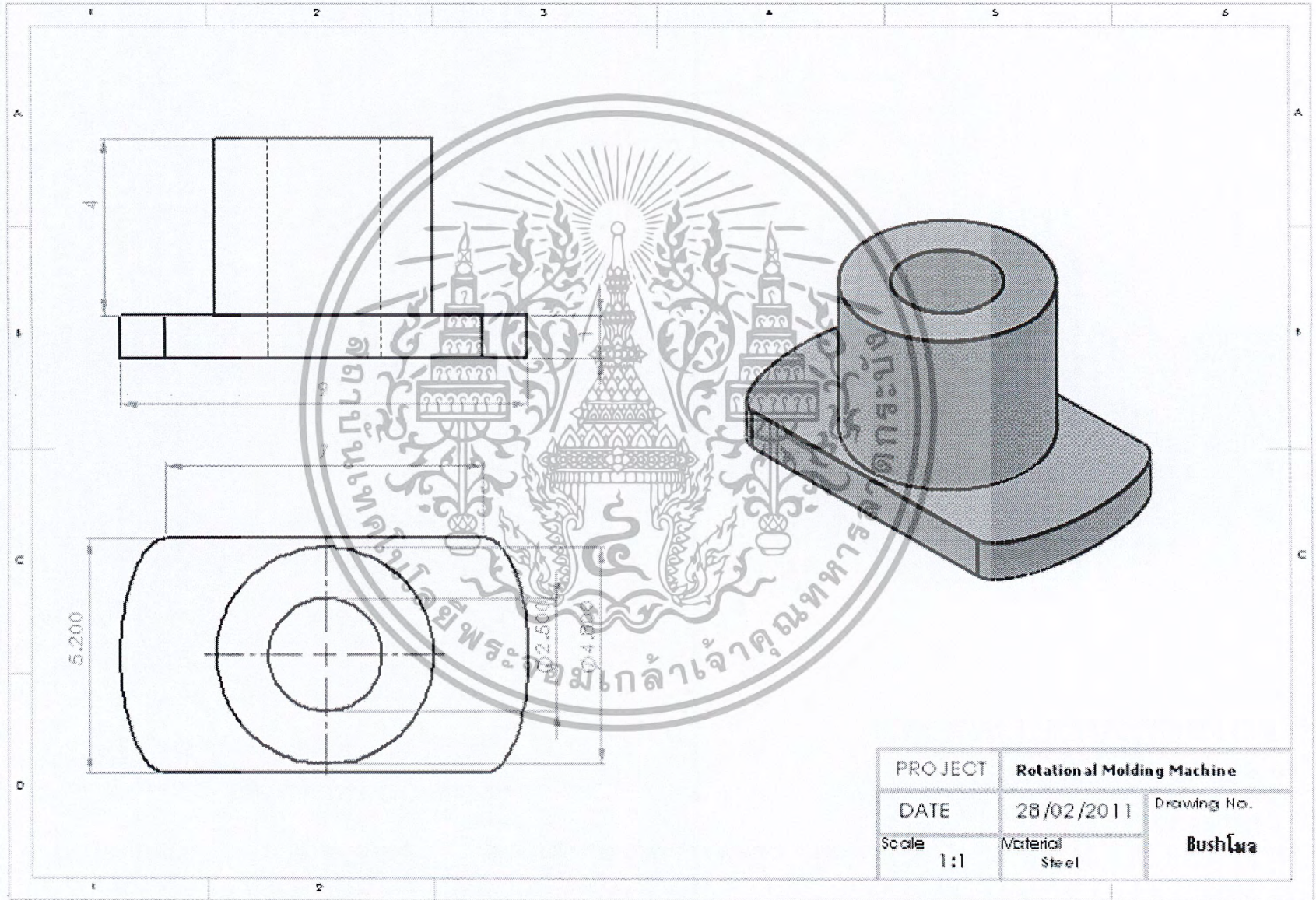
PROJECT	Rotational Molding Machine	
DATE	28/02/2011	Drawing No.
Scale	1:5	ตัวโครง
	Material	Steel

รูปที่ ค.7 แบบเขียนและขนาดของBushเพลลา

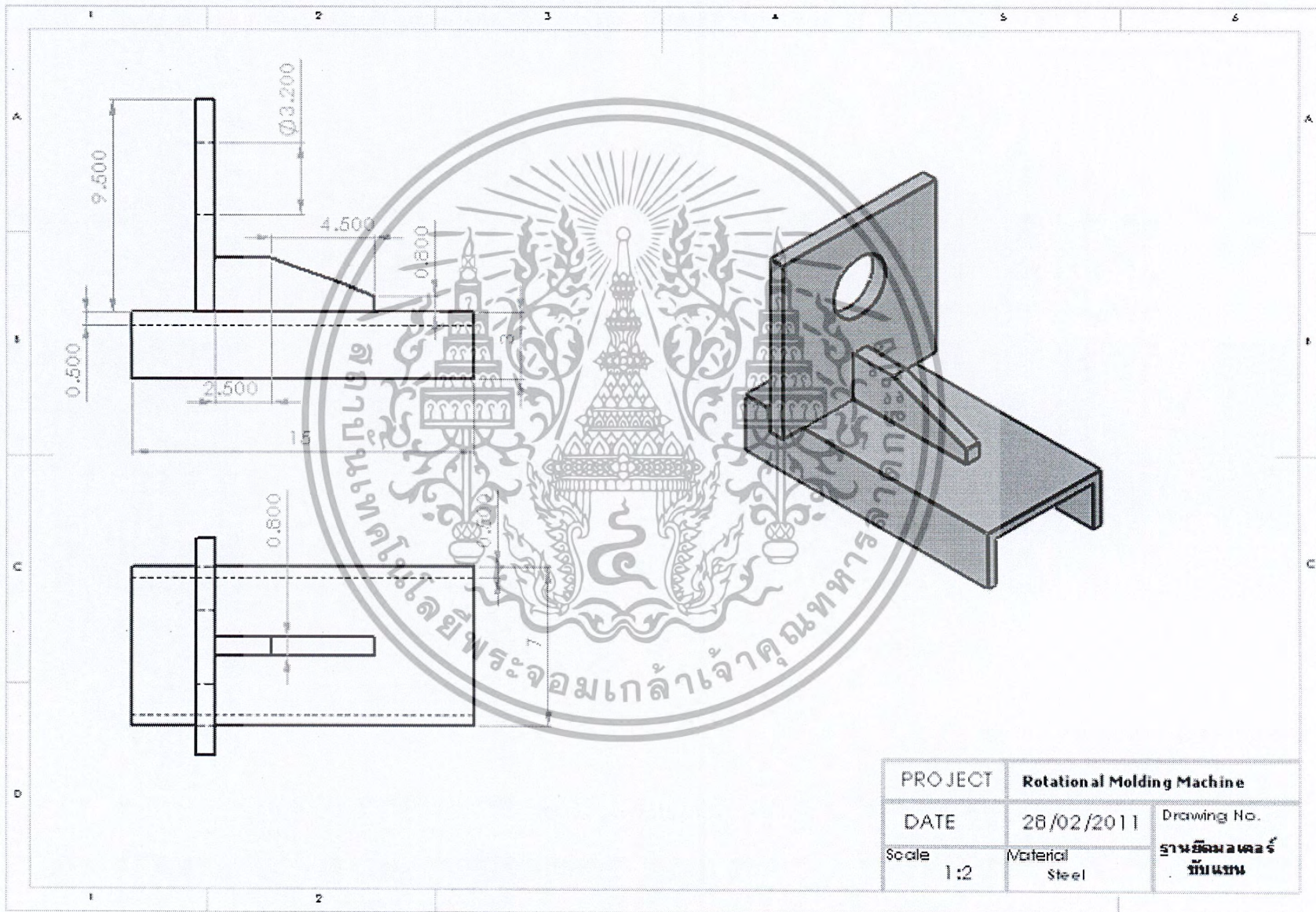


PROJECT	Rotational Molding Machine	
DATE	28/02/2011	Drawing No.
Scale	1:1	Bushเพลลา
	Material	

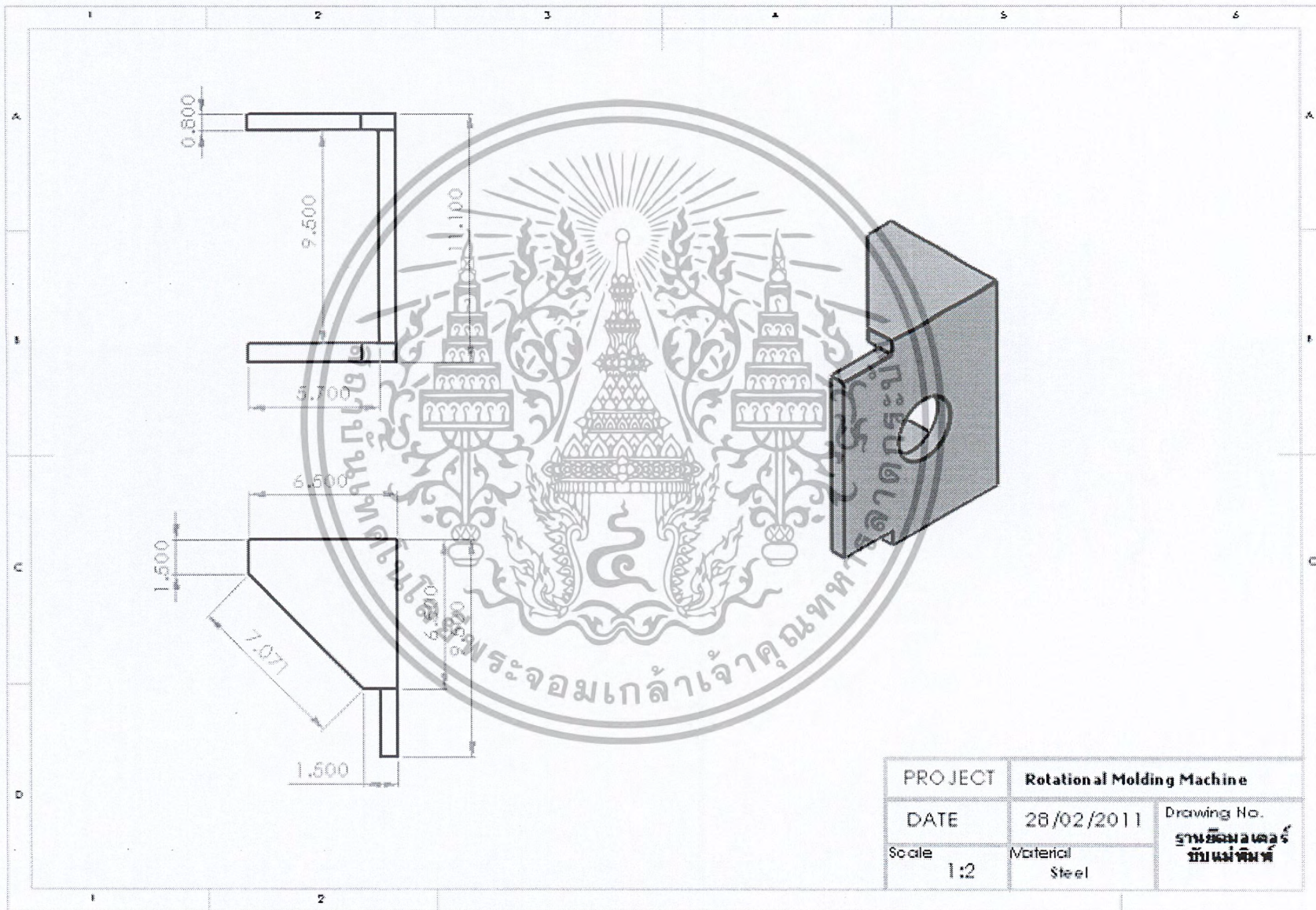
รูปที่ ค.8 แบบเขียนและขนาดของBushแม่พิมพ์



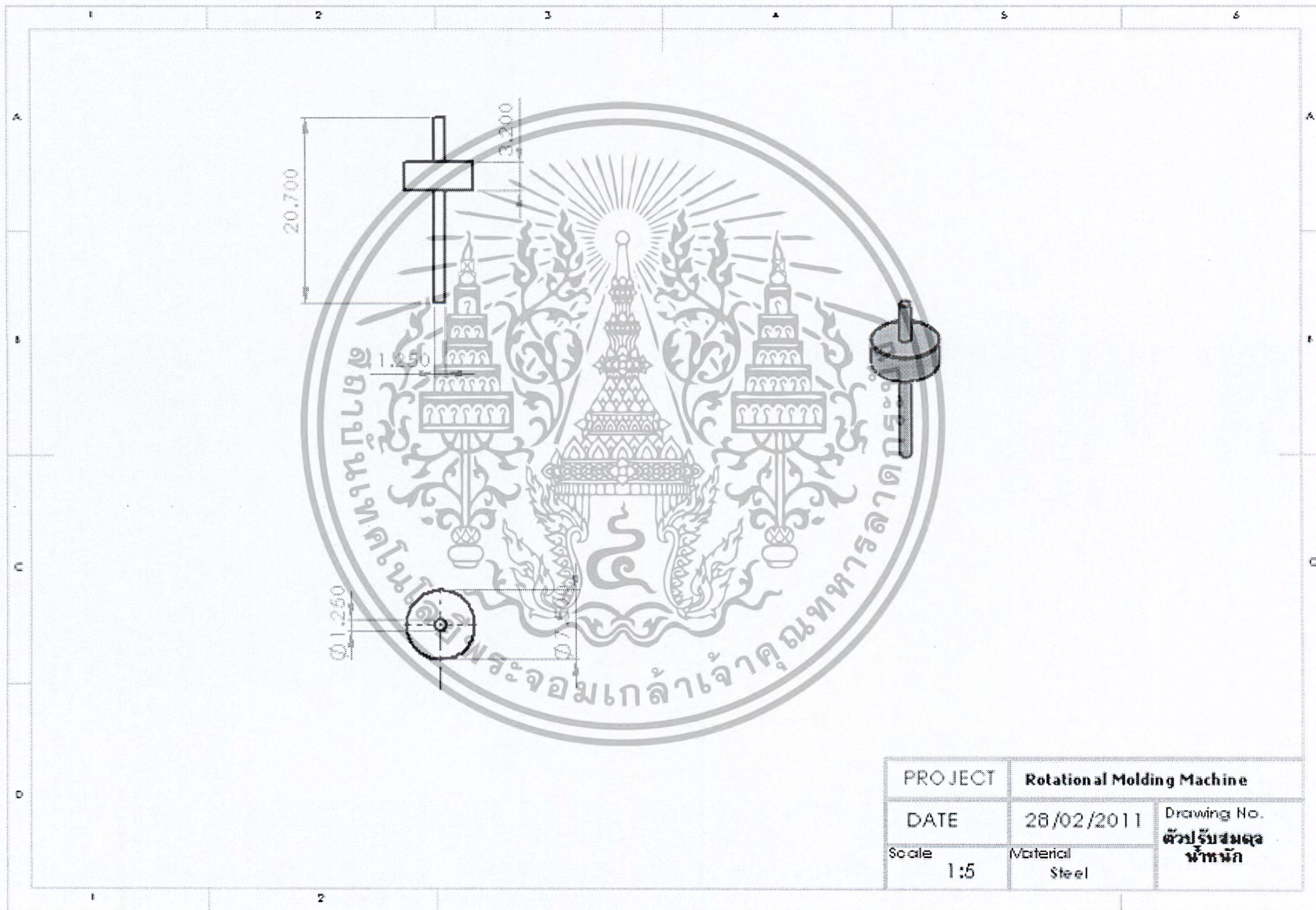
รูปที่ ค.9 แบบเขียนและขนาดของฐานยึดมอเตอร์ 90 W



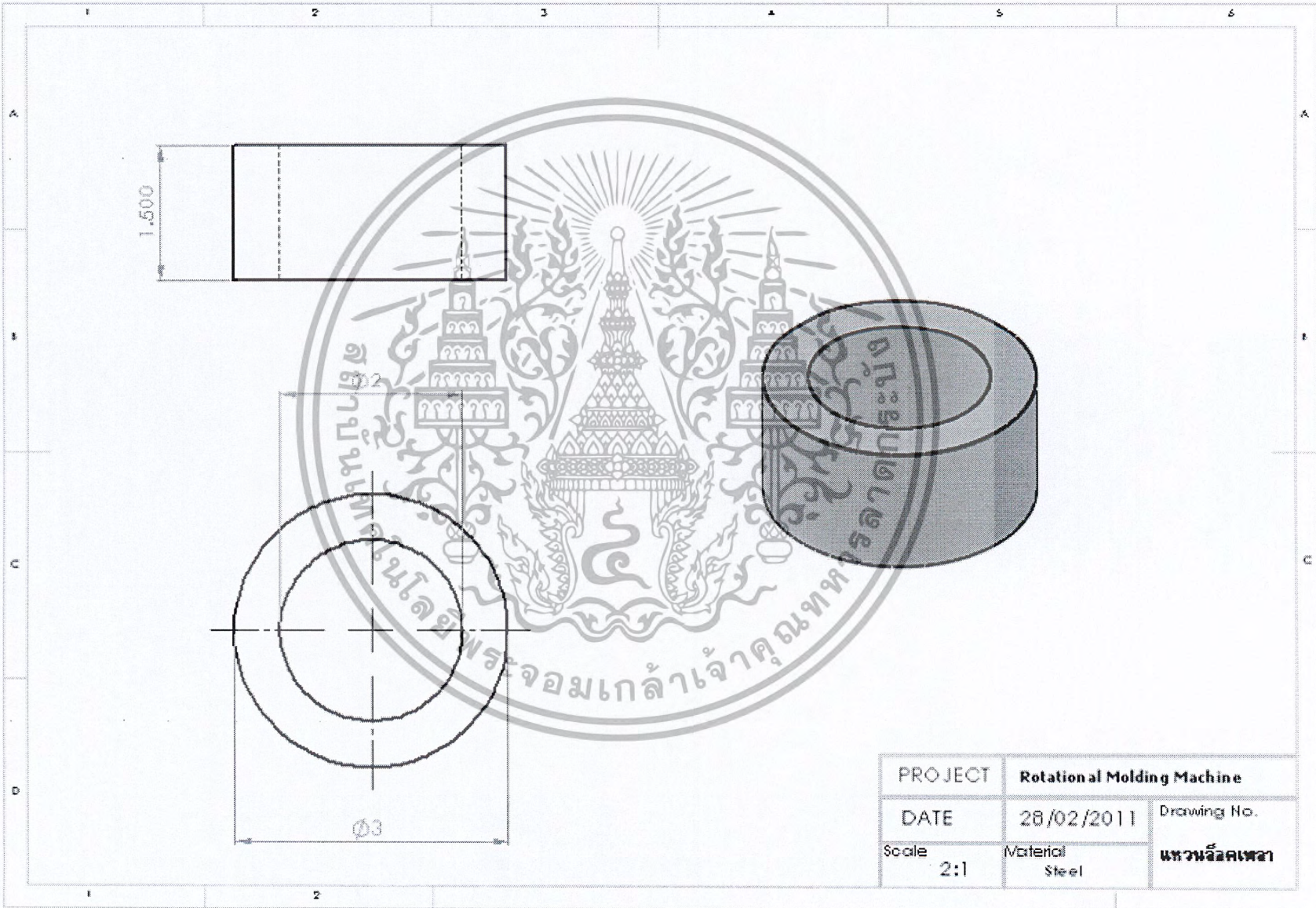
รูปที่ ค.10 แบบเขียนและขนาดของฐานยึดมอเตอร์ 60 W



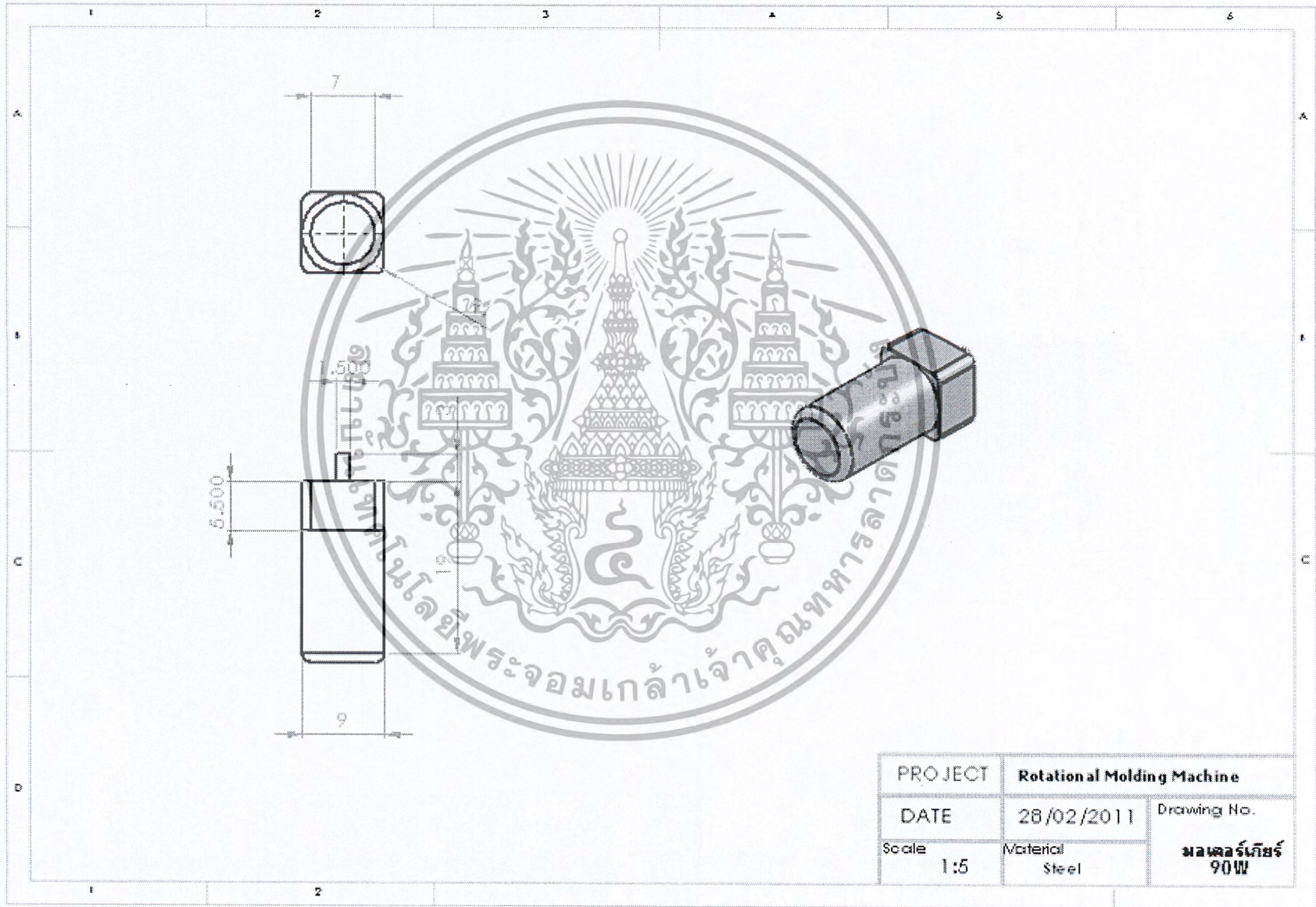
รูปที่ ค.11 แบบเขียนและขนาดของตัวรับลมคู่หน้าหนัก



รูปที่ ค.12 แบบเขียนและขนาดของแหวนล้อคเพลลา

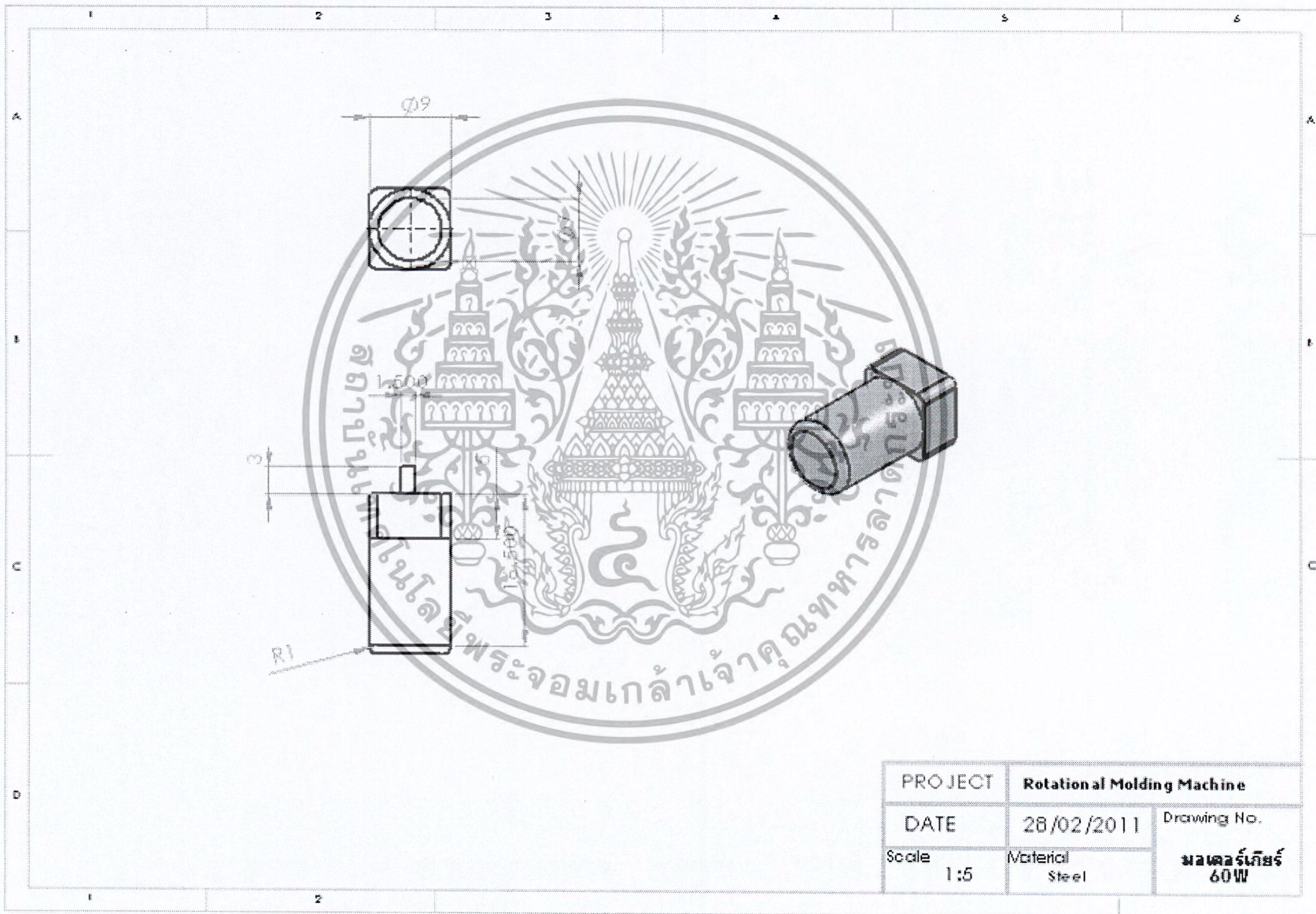


รูปที่ ค.13 แบบเขียนและงานวาดของมอเตอร์เกียร์ 90 W



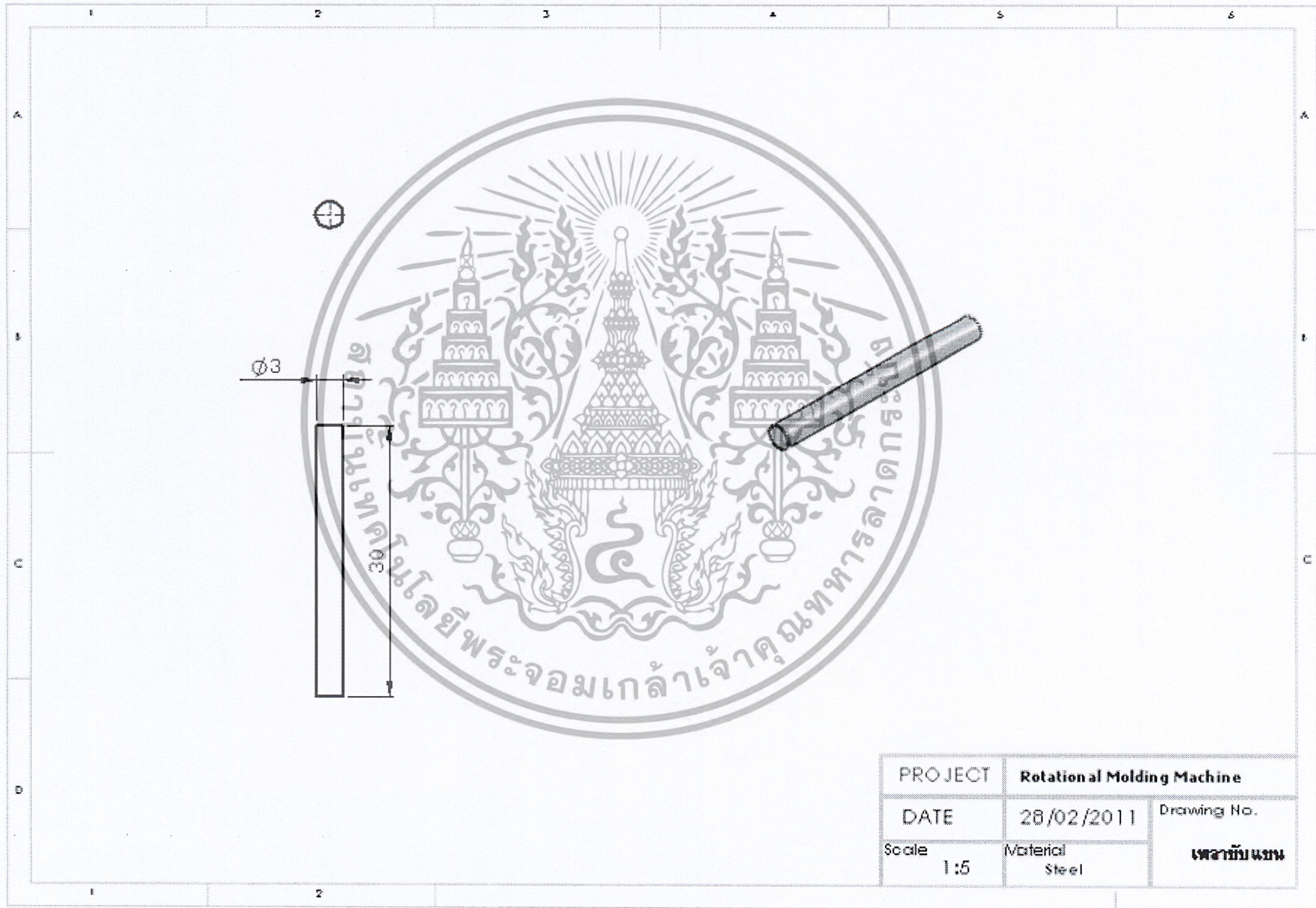
PROJECT	Rotational Molding Machine	
DATE	28/02/2011	Drawing No.
Scale	1:5	Material
		Steel
		มอเตอร์เกียร์ 90W

รูปที่ ก.14 แบบเขียนและขนาดของมอเตอร์เกียร์ 60 W



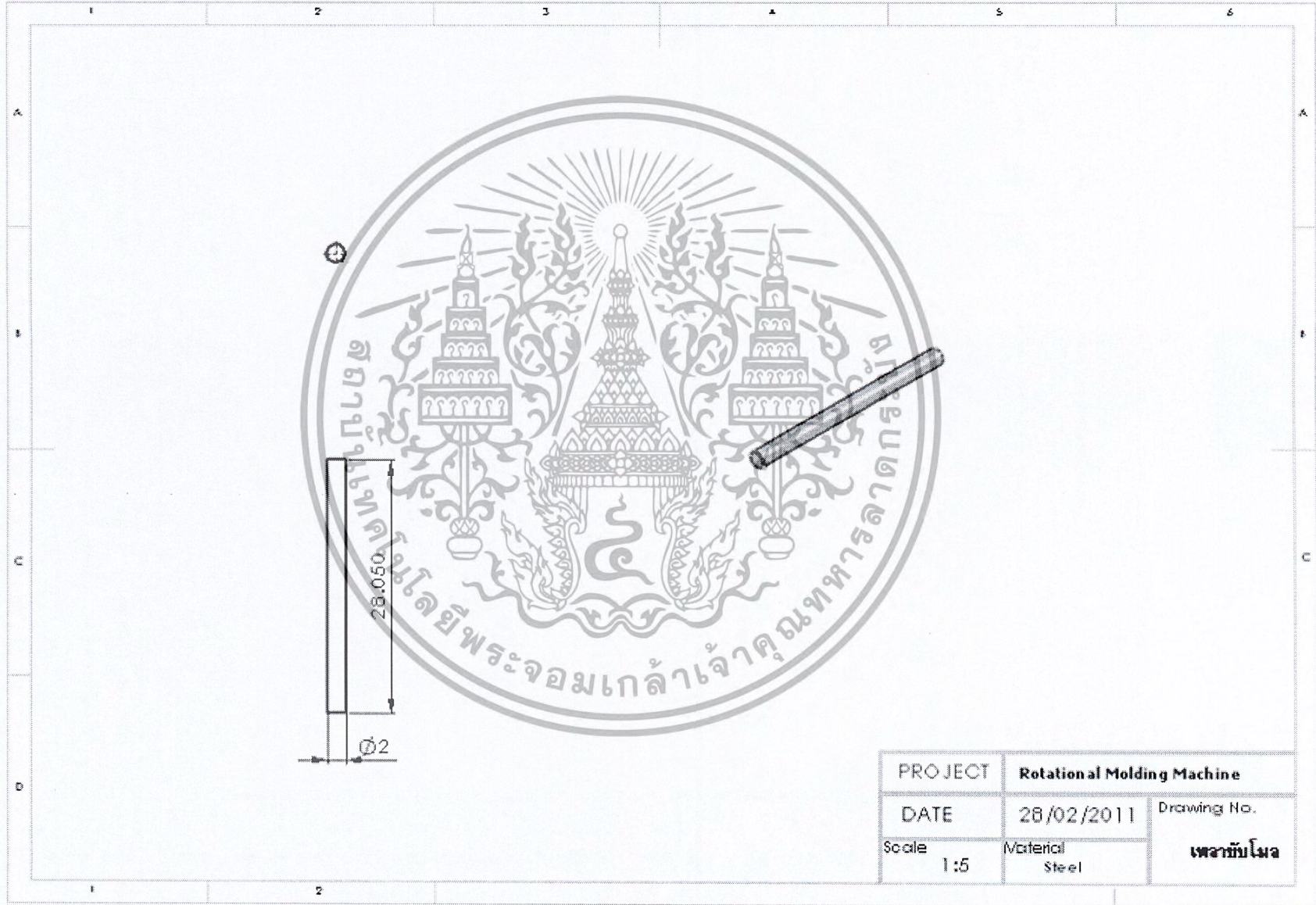
PROJECT	Rotational Molding Machine	
DATE	28/02/2011	Drawing No.
Scale	1:5	Material
		Steel
		มอเตอร์เกียร์ 60W

รูปที่ ก.15 แบบเขียนและขนาดของเพลาจับแกน

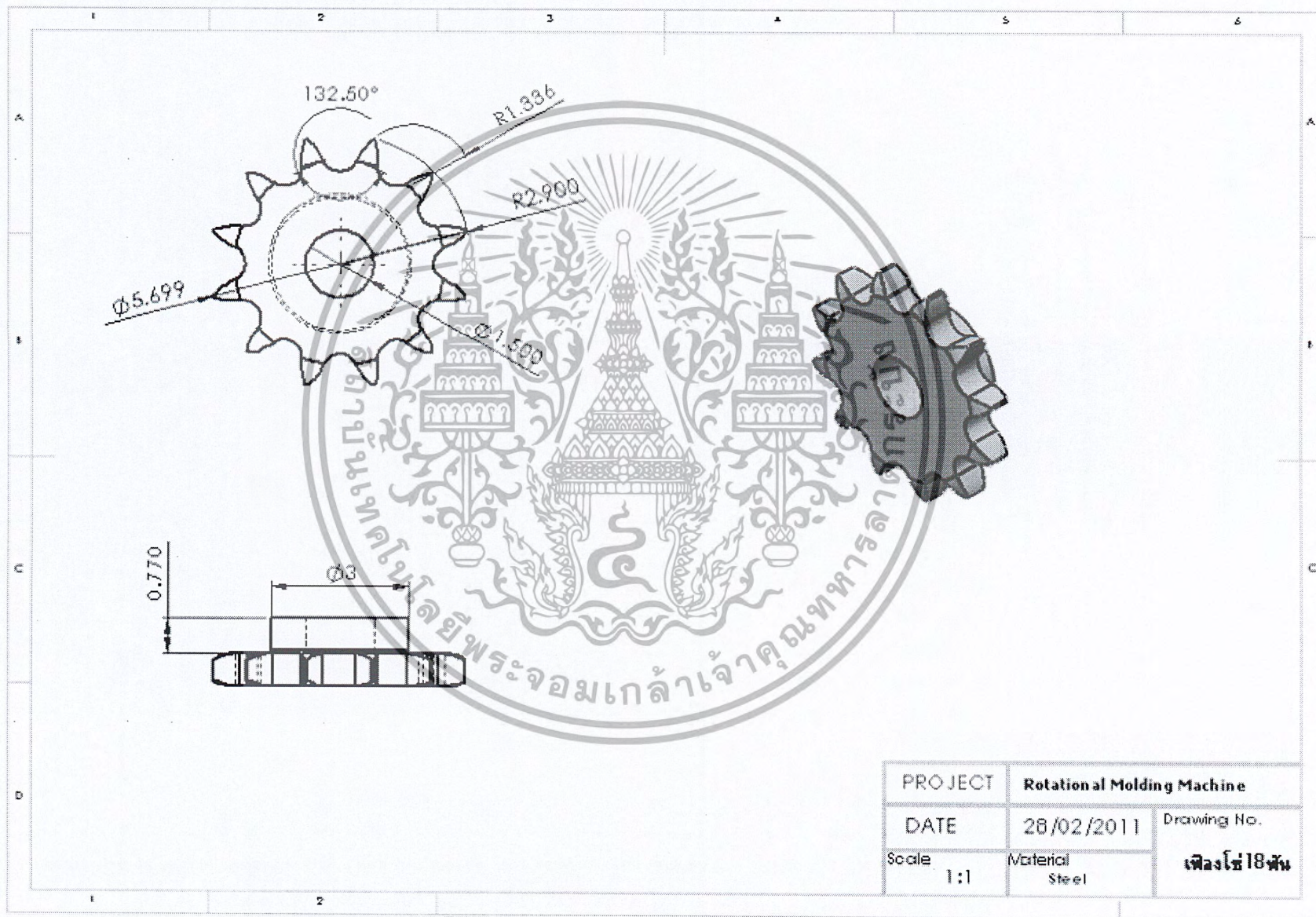


PROJECT	Rotational Molding Machine	
DATE	28/02/2011	Drawing No.
Scale	1:5	Material Steel

รูปที่ ค.16 แบบเขียนและขนาดของเพล่าขี้แม่มิ่ง

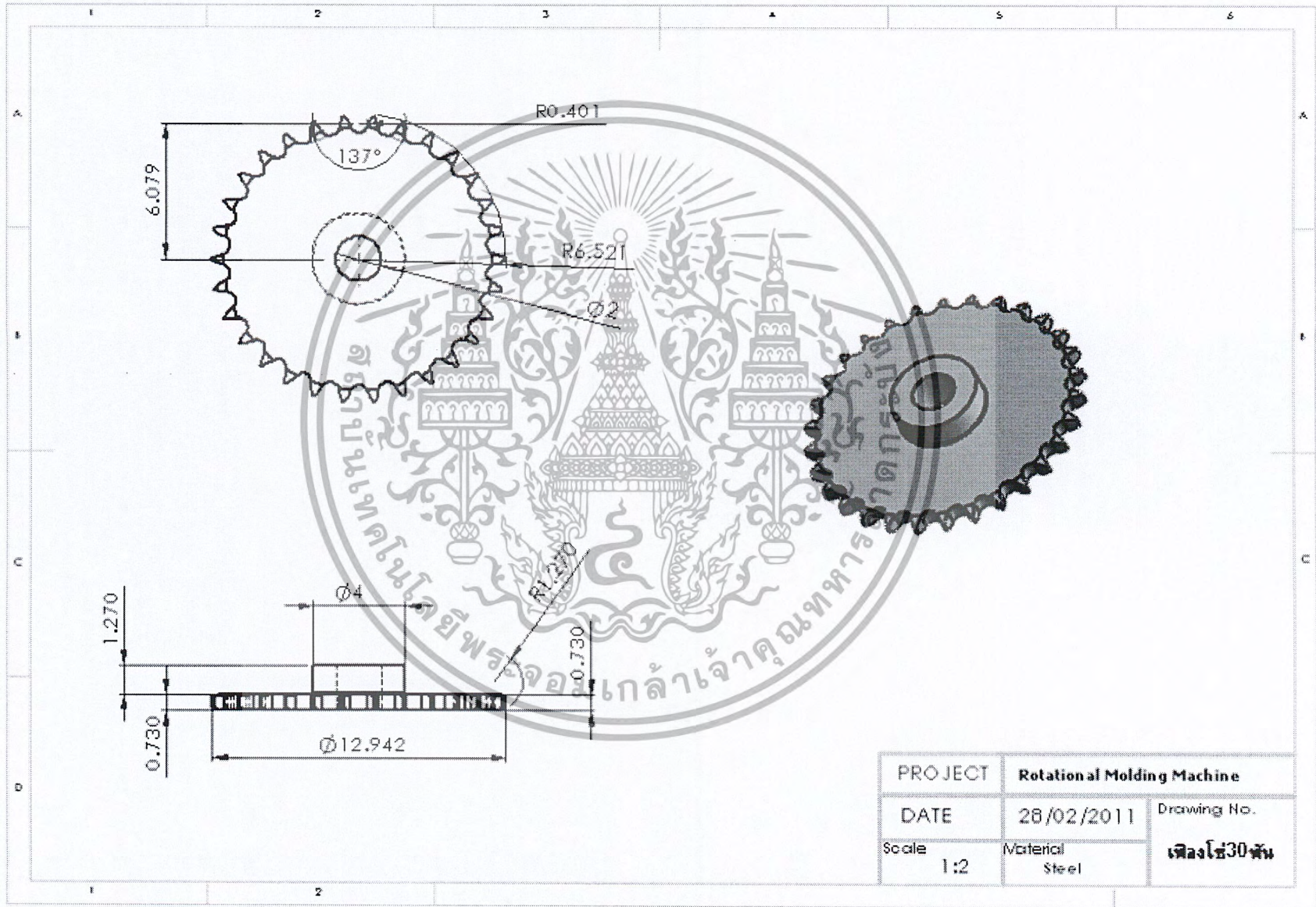


รูปที่ ค.17 แบบเขียนและขนาดของเฟือง 18 ฟัน

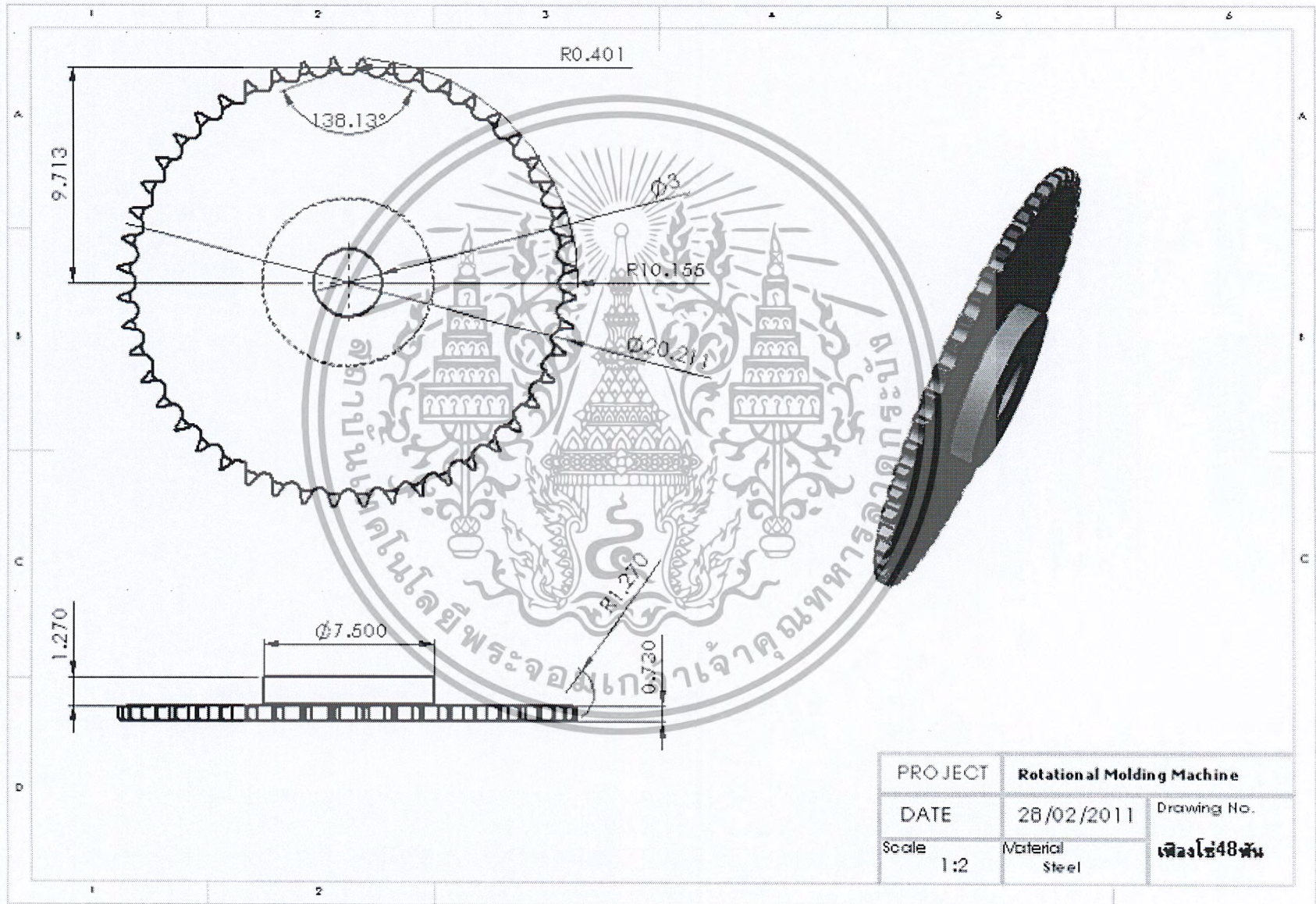


PROJECT	Rotational Molding Machine	
DATE	28/02/2011	Drawing No.
Scale	1:1	Material
		Steel
		เฟือง 18 ฟัน

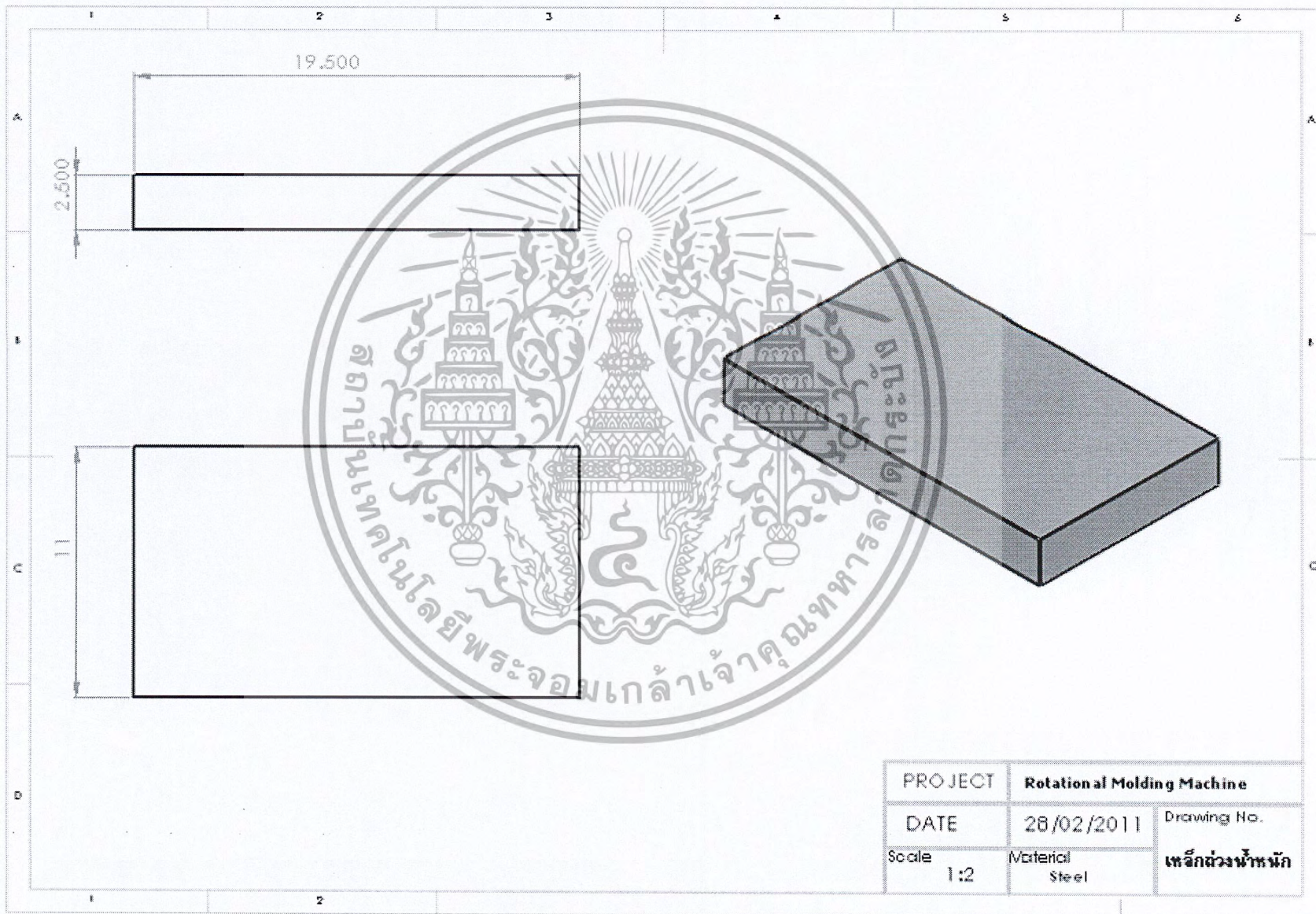
รูปที่ ค.18 แบบเขียนและขนาดของเฟืองไซ้ 30 ฟัน



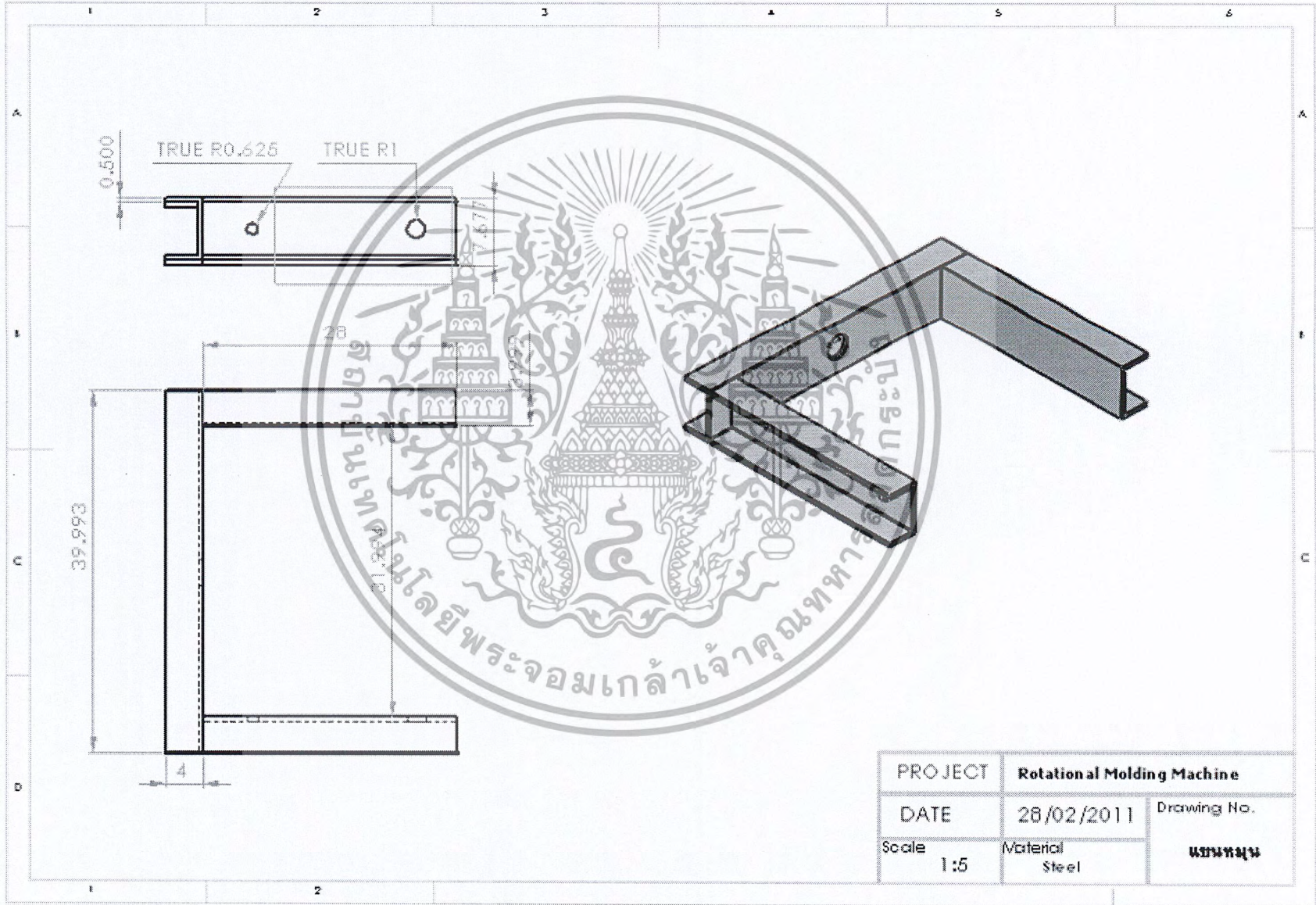
รูปที่ ค.19 แบบเขียนและขนาดของฟืองโซ่ 48 ฟัน



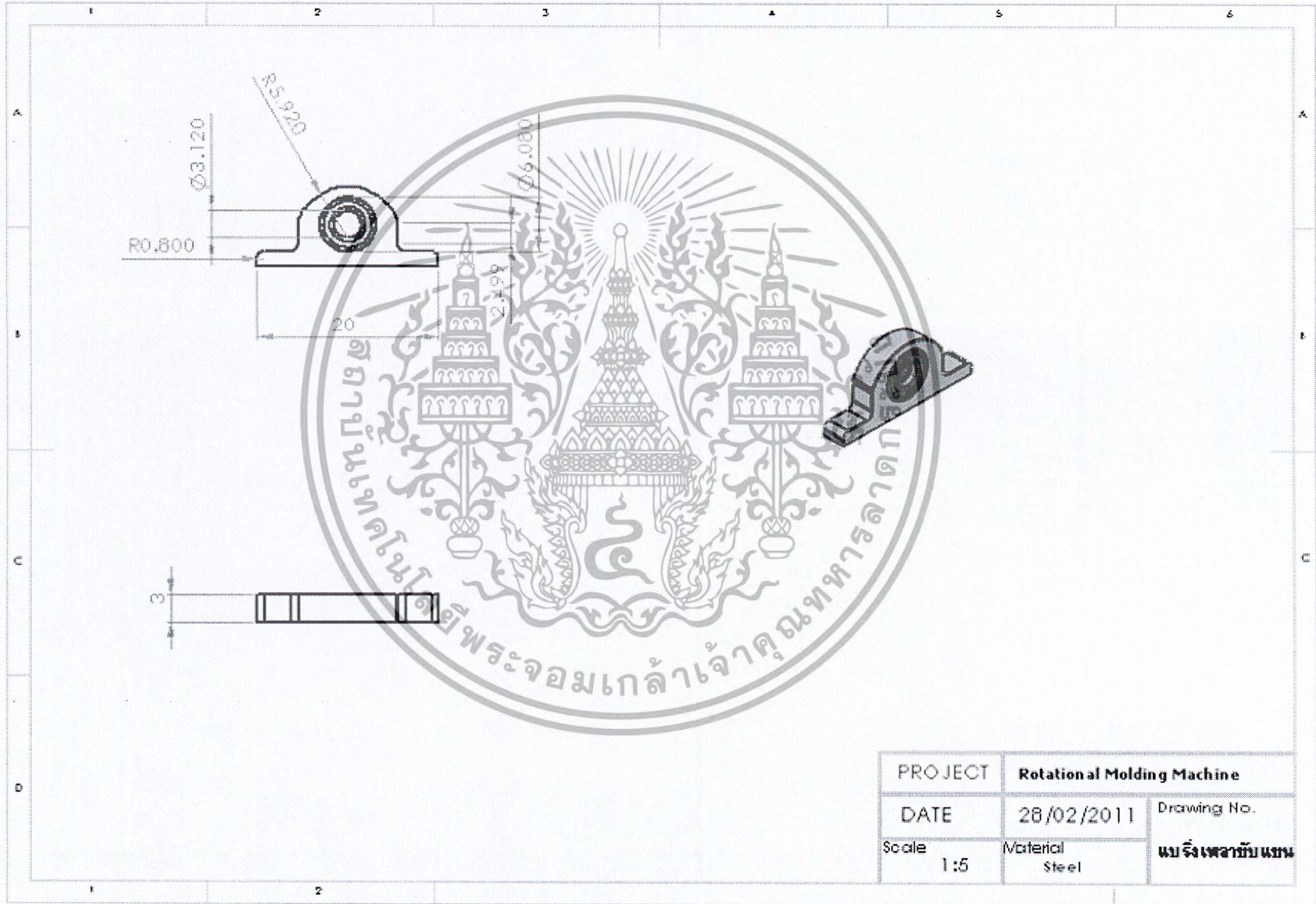
รูปที่ ค.20 แบบเตาอบและขนาดของหลักตั้งน้ำหนัก



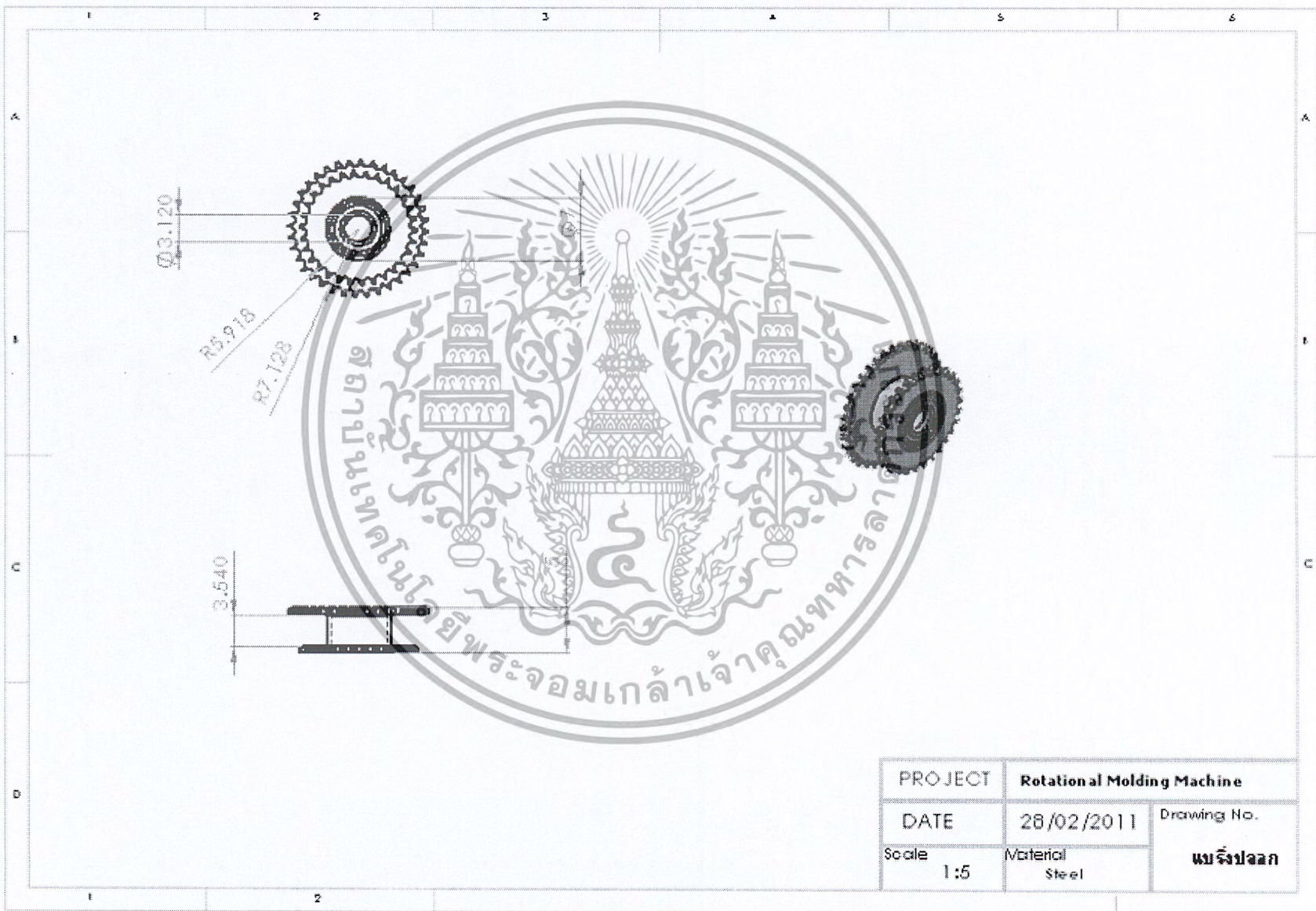
รูปที่ ก.21 แบบชิ้นและขนาดของแกนหมุน



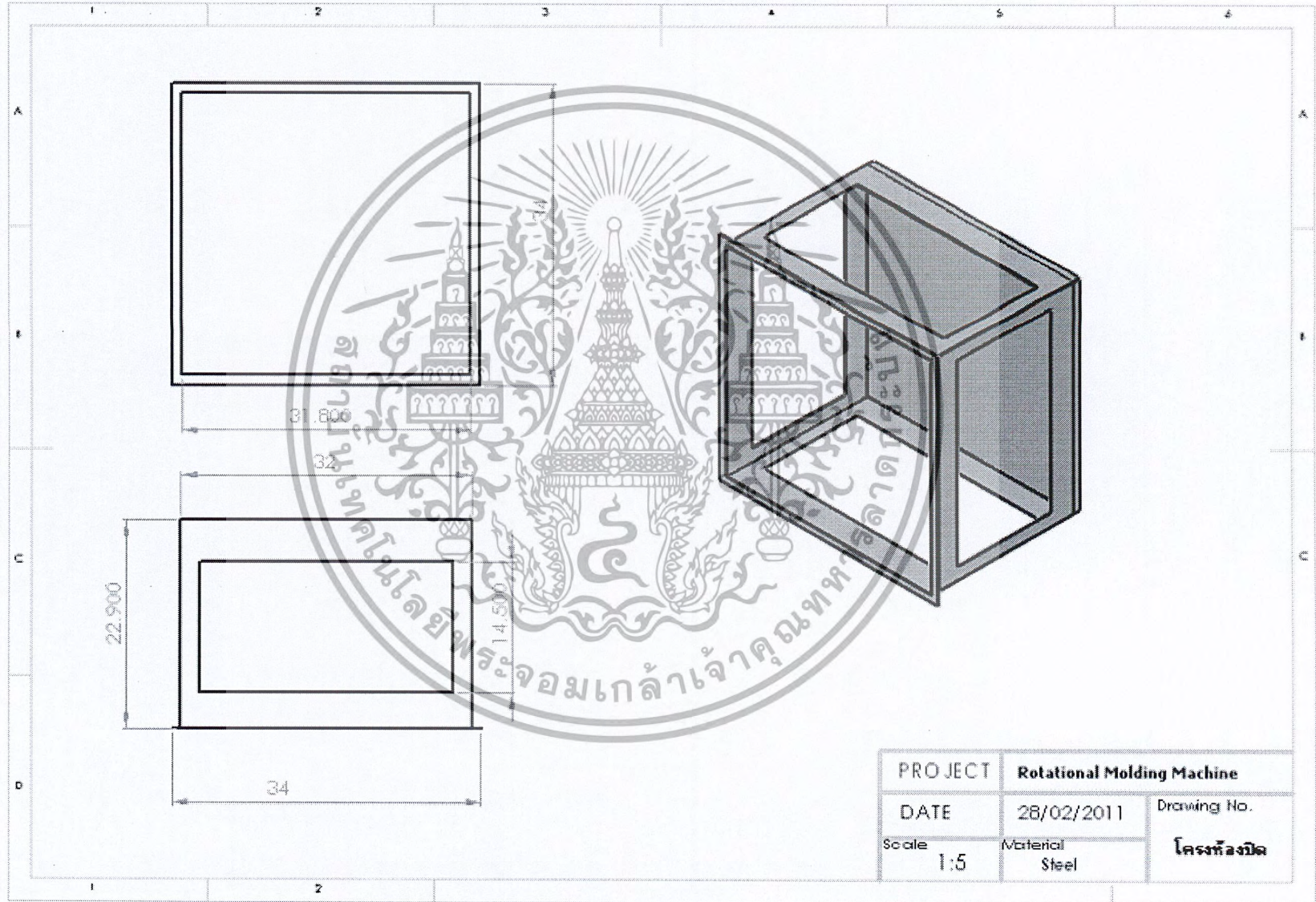
รูปที่ ค.22 แบบเขียนและขนาดของแม่พิมพ์ลาจับแกน



รูปที่ ค.23 แบบเขียนและขนาดของแม่พิมพ์ดอก



รูปที่ ค.24 แบบเขียนและขนาดของโครงห้องปิด





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 ข้อมูลจำเพาะวัสดุ

พลาสติก LLDPE (Low Linear Density Polyethylene) ชนิด M9001 ความหนาแน่น (ρ) = 0.939 g/cm³

ขนาดแม่พิมพ์เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm. สูง 9.8 cm

ปริมาตรผนัง $2\pi rLH = 2 \times \pi \times 7.5 \times 9.8 \times 0.4 = 185 \text{ cm}^3$

ปริมาตรฐาน $\pi r^2 l = \pi \times 7^2 \times 0.4 = 62 \text{ cm}^3$

ดังนั้นปริมาตรพลาสติก $185 + 62 = 247 \text{ cm}^3$

น.น พลาสติกที่ใช้ m LLDPE = $\rho v = 0.939 \times 306.97 = 232 \text{ g}$

น.น.แม่พิมพ์ + พลาสติก $m_1 = 2 \text{ kg}$

น.น.ชุดเพลาลมแม่พิมพ์ $m_2 = 1 \text{ kg}$

น.น.ชุดเหล็กถ่วงน้ำหนัก $m_3 = 6 \text{ kg}$

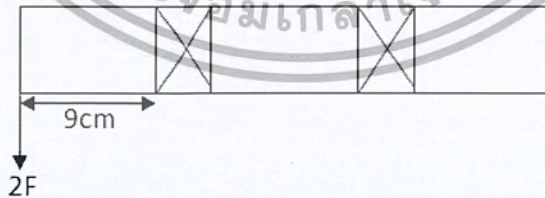
น.น.แขนหมุน+ห้องปิด $m_4 = 10 \text{ kg}$

เหล็กเหนียว SS41 $\sigma_y = 245 \text{ MPa}$ ความหนาแน่น 7.8 g/cm³

2 การออกแบบขนาดเพลาลม

2.1 การคำนวณขนาดเพลาลมขับเคลื่อนแม่พิมพ์ ออกแบบตามแบบมาตรฐาน ASME T = 10 N.m

คำนวณจากมอเตอร์ขับเคลื่อนแม่พิมพ์



รูปที่ 1.1 แรงที่กระทำต่อเพลาลมขับเคลื่อนแม่พิมพ์

แรงสูงสุดที่เฟืองโซ่เพลาลมขับเคลื่อนแม่พิมพ์ $F = T/r = 10/0.057 = 175.4 \text{ N}$; r คือ รัศมีเฟืองโซ่ 30 ฟัน

$M = 2 \times 175.4 \times 0.09 = 31.57 \text{ N.m}$ (เกิด โมเมนต์คดสูงสุด)

โดยค่าตัวประกอบความล้า $C_m = 1.5$, $C_t = 1.0$ (ตารางค่าตัวประกอบความล้าในภาคผนวก ข.) เพล่า
หมุนแรงสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นช้าๆ ตามหลักการออกแบบวัสดุของเพล่าที่บ่งบอกถึงเลขโลหะให้ใช้ความ
เค้นเฉือน

ใช้วัสดุ SS41 $\tau_d = 0.3 \sigma_y = 0.3 \times 245 = 73.5 \text{ MPa}$

$$n = \frac{\sigma_y}{\tau} = 3.33$$

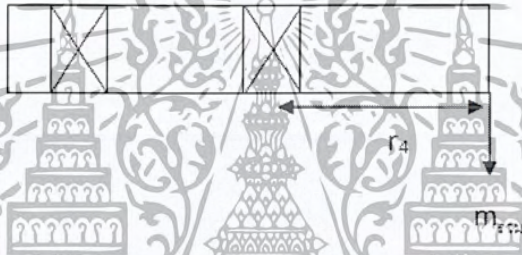
หาขนาดเพล่าจาก

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

$$d^3 = \frac{16}{\pi \times 73.5 \times 10^6} ((1 \times 10)^2 + (1.5 \times 31.57)^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$d = 14.9 \text{ mm} \text{ เลือกใช้ขนาด } 20 \text{ mm}$$

2.2 การคำนวณขนาดเพล่าขับเคลื่อน ออกแบบตามแบบมาตรฐาน ASME



รูปที่ ๓.2 แรงที่กระทำต่อเพล่าขับเคลื่อน

$T = 2m_3gr_3 = 2 \times 6 \times 9.81 \times 0.18 = 21.19 \text{ N.m}$; r_3 คือระยะจากเหล็กถ่วงน้ำหนักถึงจุดศูนย์กลางเพล่า

$M = m_{รวม}gr_4 = (m_1 + m_2 + m_3 + 2m_4)gr_4 = 25 \times 9.81 \times 0.135 = 33.11 \text{ N.m}$; r_4 คือระยะจากแกนหมุนถึงแบ
ริง (เกิดโมเมนต์คัตสูงสุด)

$$C_m = 1.5, C_t = 1 \text{ และ } d^3 = \frac{16}{\pi \tau} ((C_t T)^2 + (C_m M)^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$d^3 = \frac{16}{\pi \times 73.5 \times 10^6} ((1 \times 21.19)^2 + (1.5 \times 33.11)^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$d = 15.52 \text{ mm} \text{ เลือกใช้ขนาด } 30 \text{ mm}$$

3 การคำนวณขนาดมอเตอร์

3.1 มอเตอร์ขับเคลื่อน

$$\omega = 2\pi f = \frac{2 \times \pi \times 24}{60} = 2.53 \text{ rad/sec}$$

$$T = 2m_3gr_3 = 2 \times 6 \times 9.81 \times 0.18 = 21.19 \text{ N.m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_1 = T\omega = 21.19 \times 2.53 = 53.61 \text{ W}$$

เลือกมอเตอร์เกียร์ 90 วัตต์ ความเร็วรอบ 1300 รอบต่อนาที อัตราทด 7.5 ขนาดแกนเพลลา 15 mm

หาแรงบิดมอเตอร์ จาก $T = \frac{P}{\omega} = \frac{90 \times 60}{44 \times 2\pi} = 19.53 \text{ N.m}$

3.2 มอเตอร์ขับแม่พิมพ์

เลือกเฟืองคอกจอกขนาด 18 ฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm รุเพลลา 20 mm

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times 22}{60} = 2.30 \text{ rad/sec}$$

$$T = m_1 g r_g = 2 \times 9.81 \times 0.25 = 4.9 \text{ N.m} \quad r_g \text{ คือ รัศมีเฟืองคอกจอก}$$

$$P_2 = T\omega = 4.9 \times 2.30 = 11.27 \text{ W}$$

เลือกมอเตอร์เกียร์ 60 วัตต์ ความเร็วรอบ 1300 รอบต่อนาที อัตราทด 7.5 ขนาดแกนเพลลา 15 mm

หาแรงบิดของมอเตอร์ จาก $T = \frac{P}{\omega} = \frac{60 \times 60}{57 \times 2\pi} = 10 \text{ N.m}$

4 การคำนวณอัตราทด

4.1 อัตราทดชุดขับแขน

กำหนด pinion ฟัน โช้ 12 ฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 cm ขนาดรูสวม 15 mm $\omega = 173 \text{ rpm}$

กำหนดฟันเฟืองตามมีความเร็วรอบ 50 rpm อัตราทด $m_G = \frac{\omega}{f} = \frac{173}{50} = 3.45$

เลือกใช้อัตราทดเท่ากับ 4 ดังนั้น จำนวนฟันเฟือง โดมีค่า $4 \times 12 = 48$ ฟัน

มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18.4 cm รูสวม 30 mm

4.2 อัตราทดชุดขับแม่พิมพ์

กำหนด pinion ฟัน โช้ 12 ฟัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.6 cm ขนาดรูสวม 15 mm $\omega = 173 \text{ rpm}$

กำหนดฟันเฟืองตามมีความเร็วรอบ 60 rpm อัตราทด $m_G = \frac{\omega}{f} = \frac{173}{60} = 2.89$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

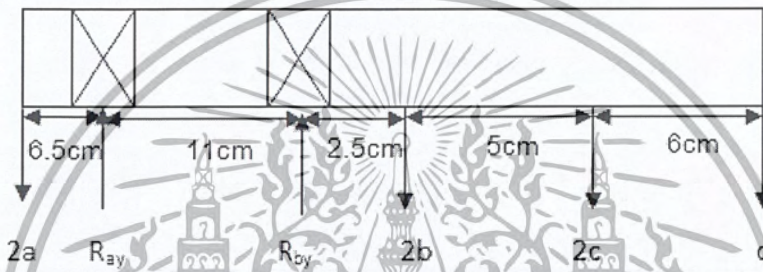
เลือกใช้อัตราทดเท่ากับ 3 ดังนั้น จำนวนฟันเฟืองโตมีค่า $3 \times 12 = 36$ ฟัน

เลือกใช้เฟืองอีกตัวที่อยู่บนเพลาดียวกัน ขนาด 30 ฟัน

5 การคำนวณแรงที่กระทำบนแบร็ง

5.1 แบร็งตัวขับเคลื่อน

ระนาบYZ



รูปที่ 3.3 แรงที่กระทำต่อแบร็งตัวขับเคลื่อนระนาบYZ

$$a = \frac{T}{r} = \frac{19.53 \text{ N} \cdot \text{m}}{0.023 \text{ m}} = 849 \text{ N}$$

$$b = \frac{T}{r} \cos 45^\circ = \frac{10 \text{ N} \cdot \text{m} \times \cos 45^\circ}{0.023 \text{ m}} = 307 \text{ N}$$

$$b = c, d = m_{\text{ring}} g = 25 \times 9.81 = 245.25 \text{ N}$$

$$e = \frac{T}{r} \sin 45^\circ = \frac{10 \text{ N} \cdot \text{m} \times \sin 45^\circ}{0.023 \text{ m}} = 307 \text{ N}$$

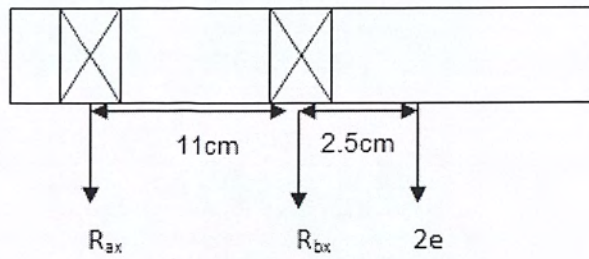
$$\epsilon M = 0; -11R_{ay} + (2 \times 849 \times 17.5) - (2 \times 307 \times 2.5) - (2 \times 307 \times 7.5) - (245.25 \times 13.5) = 0$$

$$R_{ay} = 1842.2 \text{ N}$$

$$\epsilon F = 0; -(2 \times 849) + 1842 + R_{by} - (2 \times 307 \times 2) - 245.25 = 0$$

$$R_{by} = 1329.25 \text{ N}$$

ระนาบ XZ



รูปที่ ง.4 แรงที่กระทำต่อแบริ่งตัวจับแขนระนาบ XZ

$$\varepsilon M = 0; 11R_{ax} - (2 \times 307 \times 2.5) = 0$$

$$R_{ax} = 139.55 \text{ N}$$

$$\varepsilon F = 0; 139.55 + R_{bx} + 614 = 0$$

$$R_{bx} = -753.55 \text{ N}$$

ดังนั้น แบริ่งรับแรงในแนวรัศมี รวม

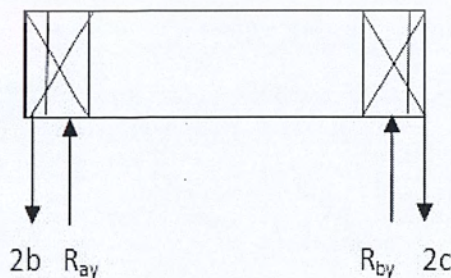
$$R_a = \sqrt{R_{ax}^2 + R_{ay}^2} = \sqrt{139.55^2 + 1842.2^2} = 1847.48 \text{ N}$$

$$R_b = \sqrt{R_{bx}^2 + R_{by}^2} = \sqrt{(-753.55)^2 + (1329.25)^2} = 1528 \text{ N}$$

เลือกแบริ่งเหมือนกันทั้งสองตัว เพราะฉะนั้นจึงเลือกแบริ่งที่ต้องรับแรงมากที่สุด คือ แบริ่ง A

5.2 แบริ่งตัวจับแม่พิมพ์

ระนาบ YZ



รูปที่ ง.5 แรงที่กระทำต่อแบริ่งตัวจับแม่พิมพ์ระนาบ YZ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{ay} = 2b = 2(307) = 614 \text{ N}$$

$$R_{ax} = 2c = 2(307) = 614 \text{ N}$$

$$R_A = \sqrt{R_{ax}^2 + R_{ay}^2} = 868.33 \text{ N} \text{ (เลือกแรง } R_A \text{ มากที่สุด)}$$

$$R_{by} = 2c = 2(307) = 614 \text{ N}$$

6 การเลือกใช้แบริ่ง

6.1 แบริ่งตัวขับเคลื่อน

จากสมการ $P = VF_r$ วงแหวนตัวในเป็นตัวหมุน $V=1$

$$\text{แทนค่า } P = 1(1847.48) = 1847.48 \text{ N}$$

กำหนดแบริ่งมีอายุการใช้งานเท่ากับ 8000 hr (จากตารางภาคผนวก)

$$\therefore L_{10} = 8000 \text{ hr} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times \frac{40 \text{ rev}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ m}}{10^6 \text{ rev}} = 19.2 \text{ m}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^K \quad K=3 \text{ Ball Bearing}$$

$$19.2 = \left(\frac{C}{1847.48} \right)^3$$

$$C = 4,947 \text{ N} = 4.9 \text{ kN}$$

จาก Catalog เลือกแบริ่งที่มี ค่า C (Dynamic load rating) ที่มีค่าไม่น้อยกว่า 4.9 kN

(ใช้แบริ่งรูสวม 30 mm เลือกตามขนาดเพลลา)

6.2 แบริ่งตัวขับเคลื่อนแม่พิมพ์

จากสมการ $P = VF_r$ วงแหวนตัวในเป็นตัวหมุน $v=1.2$

$$P = 1.2(868.33) = 1042 \text{ N}$$

กำหนดแบริ่งมีอายุการใช้งานเท่ากับ 8,000 hr (จากตาราง 7.11)

$$\therefore L_{10} = 8000 \text{ hr} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \times \frac{50 \text{ rev}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ m}}{10^6 \text{ rev}} = 24 \text{ m}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P} \right)^K$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$24 = \left(\frac{C}{1042} \right)^3$$

$$C = 3,006 \text{ N} = 3 \text{ kN}$$

จาก Catalog เลือกเบริงที่มี ค่า C (Dynamic load rating) ที่มีค่าไม่น้อยกว่า 3 kN
(เลือกใช้เบริง shaft dia. = 30mm D = 42 mm)

7 การคำนวณเรื่องโซ่ ตามมาตรฐาน ANSI

7.1 คำนวณการส่งถ่ายกำลัง

เลือกใช้โซ่ Roller เบอร์ 35 Pitch = 9.52 mm เพื่อขับหมุนด้วยความเร็ว 170 rpm

จาก ตารางในภาคผนวก ข. $H_{tab} = 0.41 \text{ hp} = 305.74 \text{ W}$

ตารางในภาคผนวก ข. $K_1 = 0.59$ (แฟกเตอร์แก้ไขจำนวนฟันไม่เท่ากับ 17ซี่)

ตารางในภาคผนวก ข. $K_2 = 1$ (แฟกเตอร์แก้ไขจำนวนแฉวของโซ่ลูกกลิ้ง)

$$H_a = K_1 K_2 H_{tab} = 0.59(1)(305.74) = 180.39 \text{ W}$$

∴ โซ่เบอร์ 35 สามารถใช้ได้กับมอเตอร์ทั้งสองตัว

7.1.1 คำนวณความยาวโซ่ตัวขับแบน

ถ้าระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของงานโซ่มีค่าประมาณ 15 cm จากสมการ

$$\frac{L}{P} = \frac{2C}{P} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C/P}$$

$$\frac{L}{9.52\text{mm}} = \frac{2(150\text{mm})}{9.52\text{mm}} + \frac{12 + 48}{2} + \frac{(48 - 12)^2}{4\pi^2(150\text{mm})/9.52\text{mm}}$$

$$L = 605 \text{ mm}$$

7.1.2 คำนวณความยาวโซ่ตัวขับแม่พิมพ์

ความยาวโซ่ตัวขับแม่พิมพ์เส้นที่หนึ่ง

ถ้าระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของงานโซ่มีค่าประมาณ 20cm จากสมการ.

$$\frac{L}{P} = \frac{2C}{P} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C/P}$$

$$\frac{L}{9.52\text{mm}} = \frac{2(200\text{mm})}{9.52\text{mm}} + \frac{12 + 36}{2} + \frac{(36 - 12)^2}{4\pi^2(200\text{mm})/9.52\text{mm}}$$

$$L = 635 \text{ mm หรือ } 63.5 \text{ cm}$$

ความยาวโซ่ตัวขับเคลื่อนแม่พิมพ์เส้นที่สอง

ถ้าระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของงานโซ่มีค่าประมาณ 22 cm จากสมการ

$$\frac{L}{P} = \frac{2C}{P} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C/P}$$

$$\frac{L}{9.52\text{mm}} = \frac{2(220\text{mm})}{9.52\text{mm}} + \frac{30 + 30}{2} + \frac{(30 - 30)^2}{4\pi^2(220\text{mm})/9.52\text{mm}}$$

$$L = 726 \text{ mm หรือ } 72.6 \text{ cm}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้