เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

POWDER INJECTION MOLDING MACHINE

นายกิตติสัณห์ จิวจินดา

MR. KITTISARN CHEWJINDA

นายภัทธัณศ์ยู หงวนเสงี่ยม

MR. PATTHANYOO NGUANSANGIEAM

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

POWDER INJECTION MOLDING MACHINE

MR. KITTISARN CHEWJINDA
MR. PATTHANYOO NGUANSANGIEAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN
PRODUCTION DESIGN AND MATERIALS ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

POWDER INJECTION MOLDING MACHINE

นักศึกษา นายกิตติสัณห์ จิวจินดา รหัสประจำตัว 60010084

นายภัทธัณศ์ยู หงวนเสงี่ยม รหัสประจำตัว 60010765

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ผศ.ดร. พชรพล ตัณฑวิรุฬห์)

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดูผง
นักศึกษา	นายกิตติสัณห์ จิวจินดา
	นายภัทธัณศ์ยู หงวนเสงี่ยม
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิชาวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.พชรพล ตัณฑวิรุฬห์

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์วัตถุประสงค์ของโครงการนี้ต้องการสร้างเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง (Powder Injection Molding) ขนาดเล็กสำหรับการฉีดขึ้นรูปวัสดุผงแบบน้อยชิ้น และศึกษาคุณสมบัติรวมถึงปัจจัยที่อาจส่งผลต่อวัสดุจากการฉีดขึ้นรูปวัสดุผงโดยเครื่อง (Machine) ที่คณะผู้จัดทำสร้างขึ้น การทดสอบคุณสมบัติวัสดุหลังการฉีดขึ้นรูป (Forming) ยึดตามมาตรฐานที่ American Society for Testing and Materials (ASTM) กำหนด การออกแบบเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงสร้างด้วยข้อจำกัดการผลิต เช่น วัสดุผงที่ฉีด (Powder) ตัวประสาน (Binder) โดยเลือกใช้อลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium oxide) เป็นวัสดุผง และ โพลีเอธิลีนไกคอล (Polyethylene glycol) เป็นตัวประสาน จากนั้นออกแบบชิ้นส่วน (Parts) ของเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงด้วยโปรแกรม Solid Works 2019 แล้วสร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ ขึ้นตามที่ได้ออกแบบไว้แล้วนำมาประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Thesis Title	Powder Injection Molding Machine
Student	Mr. Kittisarn Chewjinda
	Mr. Patthanyoo nguansangieam
Degree	Bachelor of Engineering in
	Production Design and Materials Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic year	2020
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Phacharaphon Tunthawiroon

ABSTRACT

The aim of this project is to build a small powder injection molding machine. In addition, properties of injected part are investigated based on the American Society for Testing and Materials (ASTM). Powder injection molding machine is built for the injection of powdered material, binder (Binder): Alumina powder or aluminum oxide (Aluminum oxide) as powder material and polyethylene glycol as binder. The parts of the powder injection molding machine are designed by Solid Works 2019 program. The built parts are then assembled.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง “เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง” ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ตามเป้าหมาย เพราะได้รับความร่วมมือ ช่วยเหลือ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างยิ่งจากผู้มีพระคุณหลายท่าน

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร พชรพล ตัณฑวิรุฬห์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความรู้ รวมทั้งเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาที่พบเจอระหว่างการศึกษาวิทยานิพนธ์ และทำการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอดตั้งแต่เริ่มต้นจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อย ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์คณะกรรมการตรวจวิทยานิพนธ์ทุกท่าน สำหรับคำติชม ความรู้ซึ่งได้นำมาใช้ในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้ดียิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นายกิตติสัณห์ จิวจินดา
นายภัทธัณศ์ยู หงวนเสงี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... **ก**

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... **ข**

กิตติกรรมประกาศ ..... **ค**

สารบัญ ..... **ง**

สารบัญตาราง ..... **ช**

สารบัญรูป ..... **ช**

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน 3

1.6 สถานที่ดำเนินงาน 3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีโลหะผง 4

2.2 กระบวนการขึ้นรูปวัสดุผง 5

2.2.1 โลหะผง 5

2.2.2.1 ผงโลหะ 5

2.2.2.2 ตัวประสาน 5

2.2.2.3 วัตถุดิบสำเร็จรูปสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปผงโลหะ 6

2.2.2 การฉีดขึ้นรูป 7

2.2.3 การกำจัดตัวประสาน 8

2.2.3.1 การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลาย 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

2.2.3.2 การกำจัดตัวประสานด้วยความร้อน....9
2.2.4 การเผาผนึก....10
2.2.4.1 กลไกการเผาผนึก....10
2.2.4.2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค....10
2.3 ชิ้นงานขนาดไมโคร....12
2.4 กระบวนการขั้นตอนการเลือกใช้วัสดุ....15
2.5 ทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักร....17
2.5.1 ขั้นตอนการออกแบบ....17
2.5.1.1 กำหนดวัตถุประสงค์ในการออกแบบ....18
2.5.1.2 หลักเกณฑ์และข้อจำกัดในการออกแบบ....19
2.5.1.3 ศึกษาค้นคว้ารายละเอียด....19
2.5.1.4 สังเคราะห์ความคิดในการออกแบบ....19
2.5.1.5 การออกแบบเบื้องต้นและการปรับปรุง....19
2.5.1.6 การออกแบบรายละเอียด....20
2.5.1.7 การสร้างชิ้นงานต้นแบบและทดสอบ....20
2.5.1.8 ออกแบบขั้นตอนสำหรับกระบวนการผลิต....20
2.5.1.9 การแก้ไขและปรับปรุงชิ้นงาน....21
2.5.2. แนวคิดในการออกแบบชิ้นส่วน....21
2.5.3 ความรู้พื้นฐานและเครื่องมือที่จำเป็น....21

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การออกแบบการทำงานและลักษณะภาพรวมของเครื่อง....22
3.1.1 ส่วนสำหรับฉีดผงวัสดุ....23
3.1.2 ส่วนสำหรับให้ความร้อนวัสดุผงและแม่แบบ....23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

หน้า

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้าง....25
3.3 การคำนวณค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการสร้างเครื่อง....26
3.3.1 คำนวณแรงสูงสุดในการฉีดที่กระบอกสูบสามารถทำได้....26
3.3.2 คำนวณค่าความเค้นที่ใช้ในการออกแบบและพื้นที่หน้าตัดเสาอย่างน้อยที่สุด....27
3.3.3 คำนวณหาขนาดการรับน้ำหนักสูงสุดกับความสูงของเสา....28
3.3.4 คำนวณหาค่าความหนาของแผ่นรับแรงกด....30
3.4 การกำหนดวัสดุชิ้นส่วนและอุปกรณ์ควบคุม....32
3.4.1 ชิ้นส่วนโครงสร้างเครื่องและแม่แบบ....32
3.4.2 ชิ้นส่วนวงจรลมนิวเมติกส์....34
3.4.3 ชิ้นส่วนวงจรไฟฟ้าชุดควบคุมฮีตเตอร์....35
3.5 แบบวงจรนิวเมติกส์....35
3.6 แบบวงจรไฟฟ้าชุดควบคุมฮีตเตอร์....36
3.7 การผลิตชิ้นส่วนและการประกอบ....37

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง.... 41

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลสรุปของโครงงาน 42
5.1.1. ส่วนของเครื่องฉีด 42
5.2 ปัญหาและอุปสรรค.... 42
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ.... 42

เอกสารอ้างอิง....43
ภาคผนวก.... ผ1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน....3
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของสเตนเลส 304....25
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของอะลูมิเนียม 5083....26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของของผสมแบบต่าง ๆ จากการใช้ปริมาณตัวประสานและผงที่ไม่พอดีกัน.....7
รูปที่ 2.2 การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลาย.....8
รูปที่ 2.3 การกำจัดตัวประสานด้วยความร้อน (1) ช่วงแรก (2) ช่วงที่ 2 (3) ช่วงท้าย.....9
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคขณะเผาผนึก..... 11
รูปที่ 2.5 ลักษณะของมุมสองหน้าจากการเผาผนึกซิลิคอนคาร์ไบด์.....11
รูปที่ 2.6 ชิ้นส่วนพลาสติก ABS ขนาดเล็กและชิ้นส่วนเชื่อมต่อในใยแก้วยนำแสงตามลำดับ.....13
รูปที่ 2.7 Micro-planetary-gear manufactured; (a) Planetary-gear set; (b) Planet gear.....14
รูปที่ 2.8 Dimension Tolerance เทียบกับขนาดชิ้นงานจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปผงโลหะ.....15
รูปที่ 2.9 แผนภูมิแสดงขั้นตอนในการเลือกใช้วัสดุ.....16
รูปที่ 2.10 แผนภาพการออกแบบที่มีวงป้อนกลับ.....18
รูปที่ 3.1 แบบจำลองลักษณะรูปร่างของเครื่องฉีดวัสดุผง.....23
รูปที่ 3.2 แสดงตารางการกำหนดค่า K มาตรฐาน AISC สำหรับการออกแบบ.....29
รูปที่ 3.3 การคำนวณหาค่าความหนาของแผ่นรับแรงกด.....36
รูปที่ 3.4 ชิ้นส่วนโครงสร้างเครื่องและแม่แบบ.....33
รูปที่ 3.5 ชิ้นส่วนวงจรลมนิวเมติกส์.....35
รูปที่ 3.6 ชิ้นส่วนวงจรไฟฟ้าชุดควบคุมฮีตเตอร์.....36
รูปที่ 3.7 วงจรลมนิวเมติกส์.....37
รูปที่ 3.8 วงจรไฟฟ้าควบคุมฮีตเตอร์..... 37
รูปที่ 3.9 ชิ้นส่วนเสา.....38
รูปที่ 3.10 ชิ้นส่วนกระบอกบรรจุวัสดุผง.....39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.11 ชิ้นส่วนหัวฉีด (1) และหัวกดฉีดวัสดุ (2).....39
รูปที่ 3.12 ชิ้นส่วนฐานในการใช้เครื่อง CNC (1) และ แม่แบบในการใช้เครื่อง EDM (2).....40
รูปที่ 3.13 ชิ้นส่วนแม่แบบที่กัดรูปร่างชิ้นงานแล้ว.....40
รูปที่ 4.1 เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง.....41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

1. ที่มาและความสำคัญ
2. ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์
3. ขอบเขตของปริญญานิพนธ์
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
5. ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน
6. สถานที่ดำเนินงาน

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การฉีดขึ้นรูปวัสดุผงเป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถผลิตชิ้นงานได้แม่นยำและเสียเนื้อวัสดุในระหว่างการผลิตน้อยมาก มีความได้เปรียบในการผลิตชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็ก มีความแม่นยำสูงและใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปต่ำ จึงนิยมใช้ในการขึ้นรูปวัสดุขนาดเล็กและราคาแพง หรือใช้ผลิตวัสดุเชิงประกอบซึ่งประกอบด้วยวัสดุตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป นับได้ว่าการฉีดขึ้นรูปวัสดุผงมีบทบาทอย่างมากในหลายแวดวงอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอากาศยาน ชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมรถยนต์ ปัจจุบันงานศึกษาวิจัยเพื่อขึ้นรูปวัสดุด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุผงนั้นยังไม่เป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของเครื่องมืออุปกรณ์ฉีดขึ้นรูปที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้ต้องใช้ผงวัสดุที่มีราคาแพงในปริมาณมากต่อการผลิตหนึ่งครั้ง [1-8] โดยในโครงงานนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะสร้างเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง (Powder Injection Molding : PIM) ที่มีขนาดเล็ก สามารถขึ้นรูปวัสดุในปริมาณน้อยชิ้นได้ ซึ่งเอื้ออำนวยในการศึกษาวิจัยตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปให้ได้ชิ้นงานตามต้องการโดยที่ใช้ต้นทุนของวัสดุไม่สูงมาก และเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาการขึ้นรูปวัสดุผงในปริมาณน้อยลงสำหรับการผลิตแบบ (Just In Time : JIT) สำหรับใช้งานทางวิศวกรรม จากเหตุผลที่กล่าวมางานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นการออกแบบเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงให้มีขนาดเล็กลงและสามารถใช้งานได้จริงมีราคาไม่สูงมากและหาได้ง่ายตามท้องตลาด ร่วมกับตัวเชื่อมประสาน โพลีเอธิลีนไกคอล (Polyethylene Glycol) ด้วยเหตุผลเดียวกัน สำหรับใช้ในการทดสอบวัสดุหลังจากการฉีดขึ้นรูป เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงนี้ โดยเปรียบเทียบปัจจัยที่อาจส่งผลต่อคุณสมบัติชิ้นงาน เช่น แรงดันในการกดอัดขึ้นรูป อุณหภูมิในการเผาประสาน เปอร์เซ็นต์ผงวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูป เป็นต้น

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ออกแบบและสร้างเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุ (PIM) ขนาดเล็ก สามารถผลิตจำนวนน้อยชิ้นได้

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ออกแบบและสร้างเครื่อง Powder Injection Molding

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาคุณสมบัติที่เหมาะสมของการฉีดขึ้นรูปวัสดุผงในการใช้งานแบบต่าง ๆ ได้
2. รู้ผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ เพื่อใช้ในการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

รายการ	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1. ศึกษาเอกสารและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	■	■								
2. รวมรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและจัดเตรียมเอกสารที่เกี่ยวข้อง			■	■						
3. กำหนดแผนการดำเนินงานและออกแบบวิธีการทดลอง				■						
4. ทำการปฏิบัติการทดลอง					■	■	■			
5. วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง								■	■	
6. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์										■

1.6 สถานที่ดำเนินงาน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีบทต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

1. ทฤษฎีโลหะผง
2. กระบวนการขึ้นรูปวัสดุผง
3. ชิ้นงานขนาดไมโคร
4. การเลือกวัสดุในการสร้างเครื่อง
5. ทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักร

2.1 ทฤษฎีโลหะผง

กระบวนการโลหะผง (Powder Metallurgy Process) คือขั้นตอนการนำผงโลหะผ่านกระบวนการทางกลและความร้อน ขั้นตอนหลักของกระบวนการประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ การผสมผงโลหะ (Mixing) การอัดขึ้นรูปผงโลหะ (Compacting) และการเผาประสาน (Sintering) ตัวแปรในการผสมผงโลหะ ได้แก่ เวลา ขนาดผง ความเร็ว อุณหภูมิ ในกระบวนการอัดขึ้นรูปผงโลหะ ได้แก่ ความดัน ในกระบวนการการเผาประสาน ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ เมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตทั่วไปแล้วมีความแตกต่างในเรื่องของหลักการขั้นตอน ข้อดีข้อจำกัดค่อนข้างมาก ในด้านข้อดีที่โดดเด่นคือสามารถผลิตชิ้นส่วนที่มีคุณภาพและรูปร่างซับซ้อนได้ด้วยต้นทุนต่ำ เป็นกระบวนการใช้พลังงานน้อยและมีเศษวัสดุที่เหลือน้อย โดยเหตุผลหลักในการเลือกใช้กระบวนการโลหะผงในการผลิตชิ้นส่วนแทนกระบวนการดั้งเดิมคือมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ยิ่งการผลิตชิ้นส่วนที่รูปร่างซับซ้อนและต้องการกำลังการผลิตสูงสามารถทำได้อัตโนมัติ จึงเหมาะสมกับกระบวนการ รวมถึงความยากในการผลิต เช่น วัตถุดิบที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาหรือความสามารถในการหลอมยากต้องการบรรยากาศที่สามารถควบคุมได้ วัตถุดิบหลอมยากและความเปราะสูงไม่สามารถรีดแปรรูปได้ กระบวนการโลหะผงทำให้มีความแข็งแรงในสภาวะของแข็งจึงแก้ปัญหาตรงนี้ได้ และสุดท้ายคือสามารถผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการสมบัติพิเศษได้ยกตัวอย่าง เช่น โลหะผสมที่ต้องการความเที่ยงตรงของส่วนผสมทางเคมีเป็นพิเศษความคลาดเคลื่อนของส่วนผสมทางเคมีเพียงเล็กน้อยอาจทำให้อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสเปลี่ยนแปลงไปจนไม่อาจยอมรับผลได้ โครงที่มีรูพรุนใช้ในทางการแพทย์หรือวัสดุเชิงประกอบที่ต้องมีส่วนประกอบที่ต่างกันจุดหลอมเหลวและสมบัติเชิงกลต่างกัน [1,3]

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 กระบวนการขึ้นรูปวัสดุผง

2.2.1 โลหะผง

2.2.1.1 ผงโลหะ

ผงโลหะเกือบทุกชนิดนั้นสามารถนำมาขึ้นรูปในกระบวนการฉีดได้แต่ไม่นิยมใช้ผงโลหะที่สามารถเกิดออกไซด์ฟิล์มที่มีพันธะที่แข็งแรงสูงเนื่องจากออกไซด์ฟิล์มที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวขัดขวางการเชื่อมติดกันระหว่างอนุภาคของโลหะในขณะการเผาผนึก คุณลักษณะของอนุภาคผงเป็นส่วนสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อกระบวนการขึ้นรูปฉีดผงโลหะโดยคุณลักษณะที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานฉีดขึ้นรูปผงโลหะที่สำคัญประการหนึ่งคือ ความหนาแน่นของการจัดเรียงตัวของอนุภาคผง กล่าวคือชิ้นงานขึ้นรูปแล้วมีความหนาแน่นของการจัดเรียงตัวของอนุภาคผงที่ต่ำ จะส่งผลให้ชิ้นงานหลังการเผาผนึกเกิดการหดตัวอย่างมากและเสียรูป ในทางกลับกันถ้าความหนาแน่นการจัดเรียงตัวของอนุภาคผงมีค่าสูงปัญหานี้จะเกิดขึ้นน้อยมาก ในการเลือกใช้ผงโลหะเพื่อให้ได้ขนาดสุดท้ายตามที่ต้องการ ควรเลือกใช้ผงโลหะที่มีขนาดอนุภาคผงต่ำกว่า 20 μm เนื่องจากถ้าอนุภาคผงโลหะมีขนาดที่เล็กกว่านี้จะทำให้เกิดปัญหาการจับตัวรวมกันเป็นก้อน ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของผงโลหะในชิ้นงานและความหนาแน่นสุดท้ายของชิ้นงานหลังเขาผลิตมีค่าต่ำ

2.2.1.2 ตัวประสาน

การฉีดผงโลหะเพียงอย่างเดียวในกระบวนการ Injection Molding นั้นไม่สามารถทำได้เหมือนกับการฉีดขึ้นรูปพลาสติก เพราะมีข้อจำกัดในเรื่องของความสามารถในการไหล การขึ้นรูปโลหะด้วยวิธีนี้จึงจำเป็นต้องมีส่วนประกอบอื่นเข้ามาช่วย ตัวประสานเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ทำหน้าที่เป็นตัวพาโลหะไหลไปตามรูปทรงของแม่พิมพ์ในลักษณะของของไหล เมื่อชิ้นงานแข็งตัว สารที่แข็งตัวจะช่วยพยุงผงโลหะเอาไว้เพื่อไม่ให้ชิ้นงานเสียรูปก่อนการนำไปเผาผนึก โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งชนิดของตัวประสานได้ 5 ชนิดตามประเภทสารประกอบพอลิเมอร์ดังนี้

1. ตัวประสานจากสารประกอบประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Compounds) อ่อนตัวลงได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและแข็งตัวขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง สามารถนำกลับมาขึ้นรูปใหม่ได้ถ้าหากชิ้นงานยังไม่ได้ผ่านกระบวนการกำจัดตัวประสาน

2. ตัวประสานจากสารประกอบประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermosetting Compounds) คงรูปเมื่อได้รับความร้อนจนเกิดพันธะ ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ไม่ว่าชิ้นงานนั้นจะผ่านกระบวนการกำจัดตัวประสานไปแล้ว

3. ตัวประสานแบบระบบน้ำ (Water-based Systems) ใช้น้ำเป็นตัวช่วยในการไหล ซึ่งชิ้นงานยังคงรูปอยู่ได้เมื่อน้ำถูกระเหยออกไป

4. ตัวประสานประเจล (Gelation System)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. ตัวประสานประเภทสารอนินทรีย์ (Inorganics)

จากทั้ง 5 ชนิดวัสดุพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติกเป็นวัสดุที่นิยมถูกนำมาเป็นตัวประสาน เนื่องจากความหนืดของเทอร์โมพลาสติกเป็นสมบัติที่ขึ้นกับอุณหภูมิกล่าวคือพอลิเมอร์ชนิดนี้จะอ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนที่เกินจุดอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature) และหลอมเมื่อได้รับความร้อนเกินจุดอุณหภูมิการหลอมเหลว (Melting Temperature) และแข็งตัวเมื่อได้รับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วซึ่งเป็นสมบัติที่เหมาะสมต่อกระบวนการฉีดขึ้นรูปอีกครั้งเทอร์โมพลาสติกสามารถที่จะนำกลับมาขึ้นรูปใหม่ได้อีกครั้งซึ่งช่วยลดของเสียและต้นทุนในการผลิตลง อย่างไรก็ตามวัสดุเทอร์โมพลาสติกไม่สามารถนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของวัสดุประสานได้ทุกชนิดเนื่องจากปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการขึ้นรูป เช่น น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ ความหนืด ความสามารถในการไหล การจัดเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุล ความสามารถการละลายในตัวทำละลายและอุณหภูมิการสลายตัว ดังนั้นในการเลือกใช้วัสดุที่เป็นส่วนประกอบของตัวประสานจึงต้องพิจารณาถึงสมบัติที่ต้องการที่จะส่งผลในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการขึ้นรูป [1,3]

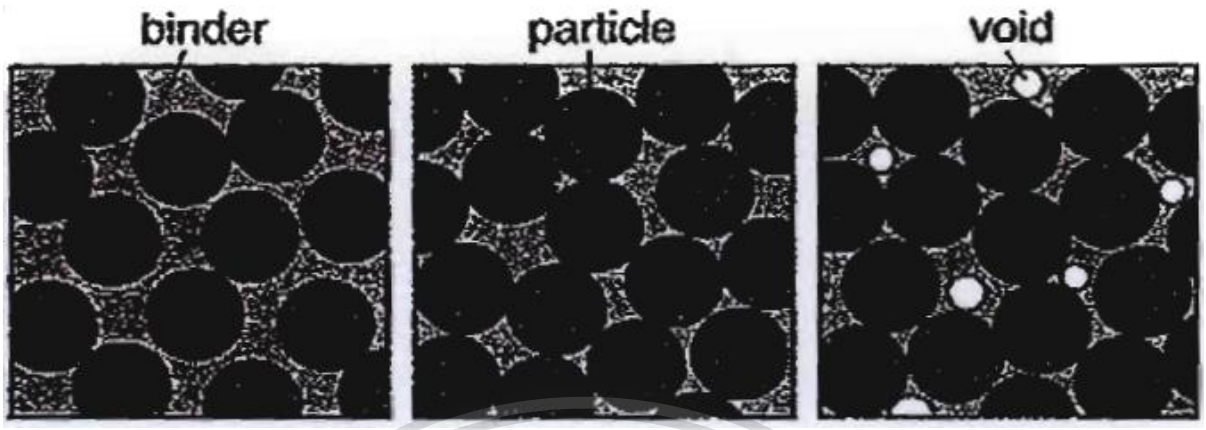
ตัวประสาน (Binder) เป็นวัสดุหลายชนิดที่มีสมบัติแตกต่างผสมเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้สมบัติเป็นไปตามความต้องการ ดังนั้นการกำหนดสัดส่วนผสมหรือสูตรของตัวประสานเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลสำคัญเป็นอย่างมากต่อความสำเร็จของกระบวนการขึ้นรูปวัสดุผง โดยทั่วไปแล้วในกระบวนการตัวประสานควรมีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำพอที่จะช่วยให้เกิดการไหลที่ดีในการเติมเต็มแม่พิมพ์ โดยที่ไม่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องของชิ้นงานในขั้นตอนการฉีดขึ้นรูปอีกทั้งตัวประสานต้องไม่ส่งผลให้เกิดการแยกตัวหรือจับตัวกันของผง ในขั้นตอนการผสมที่สภาวะของการใช้วัสดุผงที่มีปริมาณสูงนอกจากนี้แล้วส่วนประกอบของตัวประสานควรมีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวหลายช่วงเพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับชิ้นงานในขั้นตอนการกำจัดตัวประสาน

2.2.1.3 <u>วัตถุดิบสำเร็จรูปสำหรับกระบวนการฉีดขึ้นรูปผงโลหะ</u>

วัตถุดิบสำเร็จรูป (Feedstock) คือ การนำผงโลหะกับตัวประสานมาผสมเข้าด้วยกันโดยกำหนดอัตราส่วนการผสมที่แน่นอน เพื่อให้ของผสมที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุดและเพื่อให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคผงทุกอนุภาคต้องถูกเติมเต็มด้วยตัวประสาน โดยที่ปริมาณตัวประสานที่ใช้ต้องพอดี ถ้าหากใช้ตัวประสานที่มีปริมาณน้อยเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการเติมของวัสดุผงจะส่งผลให้ความหนืดของผสมเพิ่มขึ้นอย่างมาก การฉีดขึ้นรูปจะทำได้ยากและส่งผลให้เกิดช่องว่างภายในชิ้นงาน เนื่องจากเกิดการดักของอากาศภายในของผสม แล้วสัดส่วนของปริมาณการเติมวัสดุผงที่พอเหมาะที่ใช้สำหรับการฉีดขึ้นรูปได้นั้นจะต้องมีค่าน้อยกว่าปริมาณวิกฤตของการเติมวัสดุผง ถ้าการเติมปริมาณของตัวประสานมากเกินส่งผลให้ชิ้นงานเกิดครีบได้ และอาจทำให้ของผสมเกิดความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(1) (2) (3)

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของของผสมแบบต่าง ๆ จากการใช้ปริมาณตัวประสานและผงที่ไม่พอดีกัน
(1) ปริมาณตัวประสานมากเกินไป (2) ปริมาณตัวประสานที่จุดวิกฤต (3) ปริมาณวัสดุผงมากเกินไป

รูปร่างที่แตกต่างกันของผงมีผลต่อการเติมปริมาณตัวประสาน ผงที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอต้องการปริมาณตัวประสานมากกว่าผงที่มีรูปร่างกลมเพื่อให้ตัวประสานสามารถเติมเต็มช่องว่างระหว่างผงและครอบคลุมได้ทั่ว การผสมต้องควบคุมอุณหภูมิของแต่ละขั้นตอน การชั่งน้ำหนักและการใช้เครื่องมือการผสมทำให้เกิดแรงเฉือนสูงพอที่สามารถทำให้ของผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากสัดส่วนของการเพิ่มปริมาณวัสดุผงที่มากขึ้นนั้นส่งผลถึงความหนืดของผสมเพิ่มขึ้นทำให้ต้องการแรงบิดสูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มความเร็วรอบและเพิ่มอุณหภูมิสามารถช่วยลดแรงบิดได้เนื่องจากตัวประสานจะมีความหนืดลดลง แต่การใช้อุณหภูมิผสมที่ต่ำจะให้ความเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่า [1,3]

2.2.2 การฉีดขึ้นรูป

การฉีดขึ้นรูป (Injection Molding) คือ การให้ความร้อนแก่ของผสม (Feedstock) จนถึงอุณหภูมิที่สูงกว่าจุดหลอมเหลวของตัวประสาน เพื่อให้แน่ใจว่าการหลอมของตัวประสานเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ จากนั้นของผสมที่หลอมเหลวจะถูกอัดฉีดด้วยความดันผ่านหัวฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ การควบคุมอุณหภูมิที่ตัวกระบอกฉีดและที่หัวฉีดต้องมีการควบคุมเป็นอย่างดีเนื่องจากเป็นตัวกำหนดอุณหภูมิของของผสม ความบกพร่องของชิ้นงานหลังจากการกำจัดตัวประสานทางความร้อนมีสาเหตุมาจากขั้นตอนนี้ ดังนั้นจุดมุ่งหมายของขั้นตอนนี้จึงอยู่ที่การขึ้นรูปให้ได้ชิ้นงานที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันโดยปราศจากความบกพร่อง หากมีการแยกตัวของผงกับตัวประสานจะทำให้เกิดการเกาะกลุ่มกันระหว่างวัสดุผงหรือระหว่างตัวประสานซึ่งจะส่งผลให้ความหนาแน่นหลังการขึ้นรูปไม่สม่ำเสมอ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

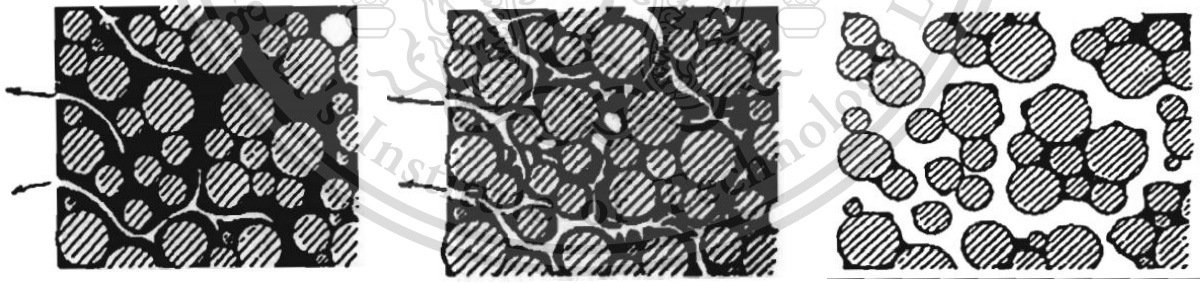
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.3 การกำจัดตัวประสาน

การกำจัดตัวประสาน (Debinding) คือ การกำจัดตัวประสานที่อยู่ในชิ้นงานให้ออกไปจากตัวชิ้นงานก่อนที่จะเผาผนึก ความผิดพลาดที่มาจากการกำจัดตัวประสานจะส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูป แตก และมีการปนเปื้อนวิธีการกำจัดสามารถแบ่งออกได้ 2 วิธี วิธีที่แรกการกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลาย วิธีที่สองการกำจัดตัวประสานด้วยความร้อน

2.2.3.1 <u>การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลาย</u>

การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลายคือการนำชิ้นงานมาแช่ในตัวทำละลายเป็นระยะเวลาหนึ่งโดยที่ตัวทำละลายสามารถละลายส่วนผสมบางชนิดที่เป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วหรือละลายในโมเลกุลขนาดเล็กที่มีขั้วได้บ้างในปริมาณเล็กน้อย โดยที่อัตราในการกำจัดตัวประสานถูกควบคุมโดยการแพร่ของโมเลกุลส่วนผสมของตัวประสาน เมื่อชิ้นงานถูกแช่ในตัวทำละลาย ส่วนผสมบางชนิดที่สามารถละลายได้จะเริ่มละลายจากผิวชิ้นงานไปยังเนื้อในของชิ้นงานซึ่งจะทำให้เกิดเป็นช่องรูพรุนขนาดเล็ก ๆ และทำให้มีการเพิ่มขึ้นของผิวสัมผัสระหว่างตัวประสานกับตัวทำละลาย การเกิดรูพรุนจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่องในขั้นตอนของการละลาย และรูพรุนเล็ก ๆ เหล่านี้จะมีขนาดโตขึ้นเรื่อย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่า (1) ตัวประสานบริเวณผิวชิ้นงานถูกละลายก่อนเกิดเป็นรูพรุนแทรกไปในตัวชิ้นงานเหมือนเส้นทางในการไหลของตัวทำละลายในชิ้นงาน (2) ตัวประสานบางส่วนละลายจากการแทรกซึมของตัวทำละลายที่ผ่านรูพรุนมา เพื่อให้ตัวประสานที่อยู่ในชิ้นงานละลายและถูกพาออกมาตามรูพรุนที่ผิวชิ้นงาน (3) ตัวประสานที่เหลือจากการกำจัดด้วยตัวทำละลาย ตามลำดับ



(1) (2) (3)

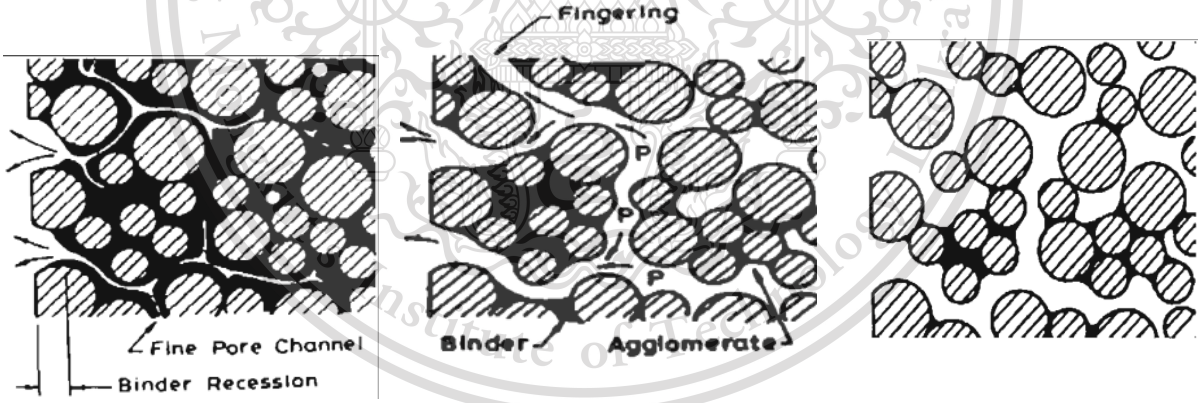
รูปที่ 2.2 การกำจัดตัวประสานด้วยตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.3.2 <u>การกำจัดตัวประสานด้วยความร้อน</u>

การกำจัดตัวประสานด้วยวิธีนี้เป็นการให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน เป็นรูปแบบการให้ความร้อนที่ซับซ้อน เพื่อให้ตัวประสานเกิดการสลายตัวและระเหยออกไปจากชิ้นงาน ภายใต้บรรยากาศการไหลเวียนภายในระบบของการกำจัดตัวประสานเพื่อป้องกันไม่ให้ตัวประสานกลับมาเกาะที่ผิวชิ้นงานอีก ความร้อนที่ใช้ในการกำจัดตัวประสานจะมีช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่วัสดุประสานละลายตัว กลไกการกำจัดตัวประสานเมื่อความร้อนมีอยู่ 3 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ช่วงแรกของการกำจัดตัวประสานเมื่อชิ้นงานได้รับความร้อนตัวประสานที่มีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำที่สุดจะเริ่มเกิดการสลายตัวทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กในชิ้นงาน เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นปริมาณของรูพรุนก็จะเพิ่มขึ้นทำให้เกิดฟองอากาศภายในชิ้นงานเป็นเส้นทางออกไปสู่ที่ผิวของชิ้นงาน แต่เนื่องจากโพรงมีขนาดเล็กทำให้อัตราการกำจัดก๊าซเป็นไปอย่างช้า ๆ สำหรับกลไกการสลายตัวในระ ยะที่สองของการกำจัดตัวประสาน วัสดุประสานจะมีความหนืดลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและเคลื่อนตัวออกมาที่ผิวชิ้นงานตามเส้นทางของอากาศที่เกิดขึ้นจากความดันของก๊าซภายใน วัสดุผงและตัวประสานที่เหลืออยู่จะเริ่มจับตัวเป็นกลุ่ม มีการจัดเรียงตัวใหม่ของรูพรุน ส่งผลให้รูพรุนเกิดมากขึ้น สำหรับกลไกการสลายตัวในขั้นสุดท้ายตัวประสานที่เหลืออยู่จากการสลายออกไปจากชิ้นงาน ต้องมีปริมาณที่เพียงพอสำหรับการพยุงชิ้นงานให้สามารถคงรูปได้ ซึ่งเป็นระยะแรกของการเผาผนึกและหากอุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอนุภาคผงจะเริ่มเกิดการยึดติดกัน [3]



(1) (2) (3)

รูปที่ 2.3 การกำจัดตัวประสานด้วยความร้อน (1) ช่วงแรก (2) ช่วงที่ 2 (3) ช่วงท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.4 การเผาผนึก

การเผาผนึก (Sintering) คือ เป็นกระบวนการทางความร้อนที่ทำให้อนุภาคผงแต่ละอนุภาคสามารถเชื่อมติดเข้าไว้ด้วยกันซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่ทำใหเกิดความแข็ง มีความแข็งแรงและมีความสามารถในการทนต่อการสึกหรอและการกัดกร่อน การเผาในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานที่อุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกับจุดหลอมเหลวของโลหะ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในระดับอะตอมมีการแพร่และเกิดการเชื่อมติดกันเป็นพันธะระหว่างอนุภาค โดยที่การเกิดพันธะระหว่างอนุภาคเกิดขึ้นได้ทั้งในสถานะของแข็งหรือเกิดจากการสร้างตัวของเฟสของเหลวจากส่วนผสมของวัสดุและสภาวะในการผลิต ปรากฏการณ์นี้ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น การเชื่อมติดกันบริเวณจุดสัมผัสระหว่างอนุภาคของโลหะ

2.2.4.1 <u>กลไกการเผาผนึก</u>

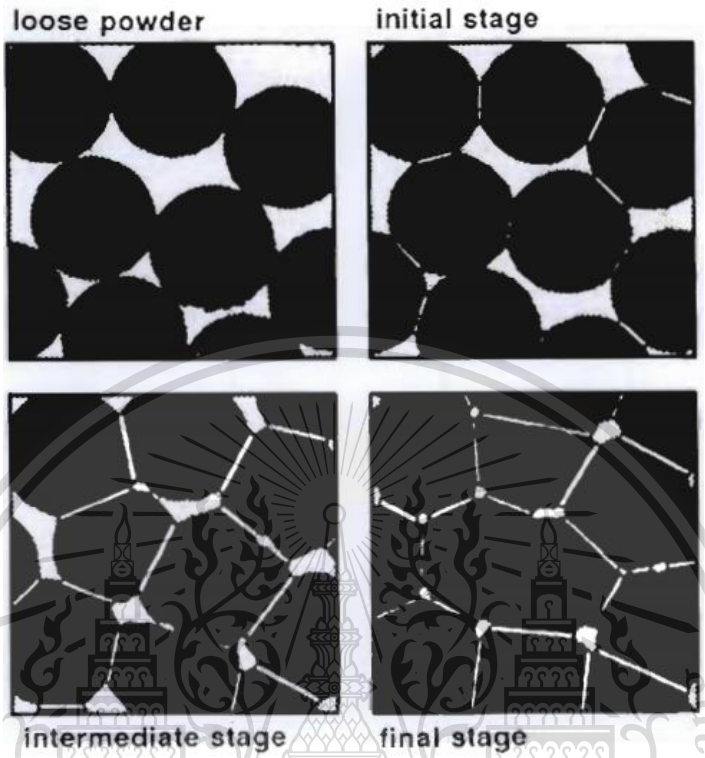
กลไกการเชื่อมติดระหว่างอนุภาคผงเกิดขึ้นจากกลไกในการเคลื่อนที่ของอะตอมที่ถูกขับด้วยพลังงานทางความร้อน กลไกดังกล่าวแบ่งได้ 2 แบบคือกลไกในการเคลื่อนที่ตามพื้นผิวกับกลไกในการเคลื่อนที่แบบมวลรวม ซึ่งทั้งสองกลไกจะเป็นแรงขับเพื่อเอาชนะพลังงานพื้นผิวที่เกิดจากความเค้นตามแนวโค้งของอนุภาคผงจนสามารถเกิดการไหลของมวล กลไกการเคลื่อนที่ตามพื้นผิวเป็นกลไกที่ทำให้เกิดการโตของรอยต่อระหว่างอนุภาคผงแต่ไม่ทำให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคผงมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากกลไกดังกล่าวเป็นการแพร่ที่พื้นผิวของอนุภาคซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิในการเผาผนึกที่มีค่าต่ำส่วนการหดตัวจะเกิดขึ้นในกลไกการเคลื่อนที่แบบมวลรวม ซึ่งเกิดจากการไหลแบบพลาสติกแบบหนืด เชิงปริมาตรหรือการแพร่ภายในเนื้อของวัตถุ และการแพร่ตามขอบเกรนของอะตอมโดยปรากฏการณ์เหล่านี้จะทำให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคเกิดการเปลี่ยนแปลง

2.2.4.2 <u>การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค</u>

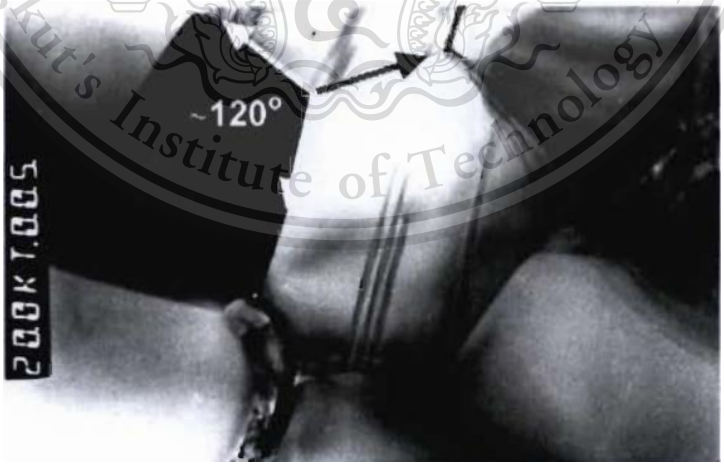
การเปลี่ยนของโครงสร้างจุลภาคในขณะเผาผนึกสามารถแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.4 คือ ขั้นตอนแรก (Initial Stage) อนุภาคผงจะเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นที่จุดสัมผัสระหว่างอนุภาคผงด้วยกันและบริเวณผิวสัมผัสนี้จะเพิ่มมากขึ้นทำให้รูที่เกิดจากการกำจัดตัวประสานมีขนาดเล็กลงจนมีความเรียบมากขึ้น ขั้นตอนต่อไปของการเผาผนึก (Intermediate Stage) บริเวณผิวสัมผัสขยายตัวเพิ่มอย่างต่อเนื่องจนเกิดเป็นลักษณะโครงสร้างของรูพรุนขนาดเล็กที่มีลักษณะเปิดอย่างต่อเนื่อง ในขั้นตอนนี้ความหนาแน่นของชิ้นงานจะมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 70 ถึง 92 ของความหนาแน่นทางทฤษฎี สำหรับในขั้นสุดท้าย (Final Stage) ลักษณะของรูพรุนจะเปลี่ยนเป็นรูปิดกรมและจะค่อย ๆ หดตัวลงอย่างช้า ๆ ด้วยกลไกการแพร่แบบมวลรวม (Bulk Diffusion) และอยู่ตามมุมของเกรนทำให้สมดุลระหว่างพลังงานขอบเกรนและพลังงานพื้นผิวของเฟสของแข็ง เกิดเป็นร่องหรือมุมโดยเรียกมุมนี้ว่ามุมส่องหน้า (Dihedral Angle) ซึ่งมุมนี้มีลักษณะคล้ายกับเลนส์นูน 2 เลนส์ประกบกันดังแสดงในรูปที่ 2.5 [1,3]

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคขณะเผาผนึก



รูปที่ 2.5 ลักษณะของมุมสองหน้าจากการเผาผนึกซิลิคอนคาร์ไบด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

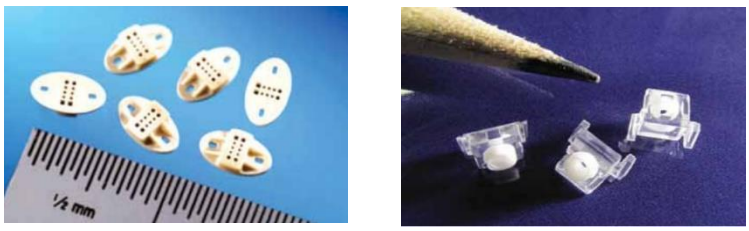
2.3 ชิ้นงานขนาดไมโคร

จากการพัฒนาด้านเทคโนโลยีในการผลิตและความต้องการชิ้นส่วนขนาดเล็กรายละเอียดสูงในหลาย ๆ อุตสาหกรรม ทำให้เกิดการผลิตชิ้นส่วนขนาดเล็กที่สามารถให้รายละเอียดของชิ้นงานและมีความถูกต้องแม่นยำสูงมาก โดยขนาดโครงสร้างของชิ้นงานอยู่ในระดับไมครอน ชิ้นส่วนขนาดเล็กเหล่านี้ถูกนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ อุปกรณ์ทางการแพทย์ ในการผลิตชิ้นส่วนขนาดเล็กนั้นสามารถทำได้โดยการใช้เครื่องมือตัดขนาดเล็กหรือเลเซอร์ เพื่อกัดเซาะวัสดุออกในระดับไมครอน ซึ่งถือเป็นวิธีการทั่วไปในการขึ้นรูปชิ้นงานระดับไมครอน อย่างไรก็ตามการผลิตชิ้นส่วนขนาดเล็กที่เป็นพลาสติกสามารถผลิตได้ง่ายและถูกกว่าการผลิตแบบทีละชิ้นด้วยการสร้างแม่พิมพ์ขึ้นมาและใช้กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกต่าง ๆ เพื่อผลิตชิ้นงานแบบเดียวกันออกมาในปริมาณมาก ซึ่งจะทำให้ได้ราคาต่อชิ้นที่ถูกลงกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกทั่วไป ชนิดของพลาสติกที่เลือกใช้ก็แตกต่างกันไปตามประเภทของงาน เช่น ชิ้นส่วนที่ต้องใช้งานภายใต้อุณหภูมิสูง อาจต้องเลือกพลาสติกที่ทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เช่น Polyetheretherketone (PEEK) ที่สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 250 องศาเซลเซียส ชิ้นส่วนที่ทนต่อการกัดกร่อนทางเคมีอาจต้องใช้พลาสติกชนิด Perfluoralkoxy (PFA) หากต้องการชิ้นส่วนที่มีความอ่อนตัวอาจเลือกใช้ Polyoxymethylene (POM) หรือเลือกใช้ Polysulfone (PSU) สำหรับชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งมาก ๆ เป็นต้น นอกจากนี้ หากต้องการชิ้นส่วนพลาสติกที่สามารถนำความร้อนหรือนำไฟฟ้าได้ หรือแม้กระทั่งมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กก็สามารถทำได้โดยการผสมผงโลหะเข้าไปในเนื้อพลาสติก หลักการขึ้นรูปพลาสติกขนาดเล็กนั้นเหมือนกับกระบวนการขึ้นรูปในสเกลขนาดใหญ่ทั่วไป นั่นคือ การทำให้พลาสติกอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า Glass Temperature หรือ อุณหภูมิที่ทำให้พลาสติกมีความอ่อนตัวพอที่จะสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปทรงได้ จากนั้นทำการฉีด อัด หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปทรงด้วยแม่พิมพ์ รอให้เย็นตัวจากนั้นนำชิ้นงานที่ได้ออกจากแม่พิมพ์ นอกจากนี้การผลิตชิ้นงานพลาสติกระดับไมครอนนั้นยังต้องมีปัจจัยอื่น ๆ ทางวิศวกรรมและวัสดุศาสตร์เข้ามาร่วมพิจารณาด้วย เนื่องจากปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้มีเพียงไม่กี่มิลลิกรัมต่อชิ้น และขนาดชิ้นส่วนต่าง ๆ อยู่ในระดับไมครอน ซึ่งถือว่ามีความยากในแง่ของการควบคุมอุณหภูมิ และปัจจัยในการขึ้นรูปอื่น ๆ ที่มีความซับซ้อนมากกว่ากระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบปกติทั่วไป นั่นหมายความว่าการลดขนาดของกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกให้เล็กลงจากขนาดปกติที่ใช้กันทั่วไปนั้น ไม่เพียงพอที่จะให้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสูงได้ การขึ้นรูปชิ้นส่วนพลาสติกขนาดเล็กให้ได้ขนาดและคุณภาพตามที่ต้องการนั้นต้องคำนึงถึงเทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ นอกเหนือไปจากกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบปกติทั่วไป เช่น โครงสร้างของแม่พิมพ์ คุณสมบัติของพลาสติกและวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ ความแม่นยำของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กระบวนการและการวัด รวมไปถึงหลักการด้านไมโครและนาโนเทคโนโลยี นอกจากนี้ความยากของกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกระดับไมครอน คือการผลิตชิ้นงานที่มีอัตราส่วนความหนาหรือความลึกต่อความกว้างมากสูง เรียกว่า Aspect Ratio โดยปกติแล้ว ค่า Aspect Ratio นี้จะมีค่ามากกว่า 1 ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็กนั้น มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ แม่พิมพ์ที่มีโครงสร้างขนาดเล็ก (Micro-Structured Mold Insert) และเครื่องจักรที่ใช้ประกอบในการขึ้นรูป แม้ว่าการผลิตแม่พิมพ์ขนาดเล็กได้มีการพัฒนามาแล้วกว่า 30 ปี และกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ขนาดเล็กและเครื่องจักรที่ใช้งานกับแม่พิมพ์ขนาดเล็กนี้ก็มีออกวางจำหน่ายและใช้งานทั่วไปในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนขนาดเล็กแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นส่วนที่เป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Polymers) หากแต่การวิจัยและพัฒนายังคงมีอย่างต่อเนื่อง และมีเพิ่มมากขึ้นในหลาย ๆ ปีมานี้ เนื่องจากความรู้ที่เรามีเกี่ยวกับกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกในระดับไมครอนในขณะนี้ยังถือว่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับกระบวนการขึ้นรูปในขนาดปกติทั่วไปกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยแม่พิมพ์ขนาดเล็กนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ ๆ คือ กระบวนการฉีด (Injection Molding) กระบวนการฉีดร่วมเพื่อให้เกิดการทำปฏิกิริยา (Reaction Injection Molding) การปั๊มขึ้นรูปด้วยความร้อน (Hot Embossing) กระบวนการฉีดประกอบกับการอัดตัว (Injection Compression Molding) และการขึ้นรูปแผ่นพลาสติกด้วยความร้อน (Thermoforming) อย่างไรก็ตาม กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติกขนาดเล็กส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการฉีดและกระบวนการปั๊มขึ้นรูปเป็นหลัก เนื่องจากสามารถให้ค่า Aspect Ratio ที่สูงมาก ๆ ดังตัวอย่างชิ้นงานในรูปที่ 2.6 ชิ้นส่วนพลาสติก ABS ขนาดเล็กเทียบกับปลายดินสอ และชิ้นส่วนเชื่อมต่อในใยแก้วนำแสงโดยมีขนาดรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 ม.ม. บนชิ้นงาน ตามลำดับ แม้ว่ากระบวนการขึ้นรูประดับไมโครจะมีประโยชน์มากสำหรับการผลิตชิ้นส่วนโลหะขนาดเล็กและโครงสร้างจุลภาค แต่ต้องพบกับปัญหาทางด้านเทคนิคต่าง ๆ ในแต่ละกระบวนการเช่น เป็นการยากที่จะเติมวัตถุดิบทั้งหมดลงในที่ขนาดเล็กและการนำชิ้นงานที่เปราะบางออกจากแม่พิมพ์โลหะ จำเป็นต้องมีการจัดการอย่างระมัดระวังในกระบวนการกำจัดตัวประสานและเผาผนึก เป็นต้น

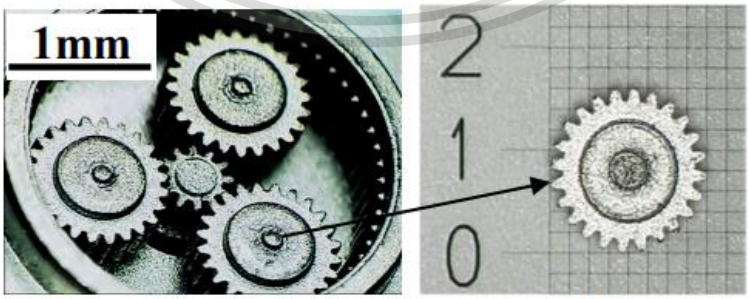


รูปที่ 2.6 ชิ้นส่วนพลาสติก ABS ขนาดเล็กและชิ้นส่วนเชื่อมต่อในใยแก้วนำแสงตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนากระบวนการผลิตขนาดเล็กขั้นสูงและเฟืองขนาดเล็กที่ทำจากโลหะและเซรามิกขั้นสูงบางชนิด มอเตอร์เกียร์ดาวเคราะห์ขนาดเล็กที่ทำจากโลหะแก้วขนาดใหญ่ที่มี Ni-Fe และ Ni ได้รับการพัฒนาโดย X-ray Lithography, Electro-Deposition และการฉีดขึ้นรูป อย่างไรก็ตาม เฟืองขนาดเล็กที่ทำจากวัสดุที่ทนทานเอนกประสงค์จำเป็นสำหรับการย่อขนาด ปรับปรุงความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์และการผลิตยังตั้งเป้าที่จะบรรลุประสิทธิภาพที่ประหยัดสูงสำหรับความต้องการทางอุตสาหกรรม ผู้วิจัยได้ศึกษาคุณสมบัติทางไตรโบโลยีของเฟืองขนาดเล็กที่ผลิตโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปโลหะและได้รับการประเมินในเชิงปริมาณ ดังนั้นกลไกการสึกหรอจึงได้รับการชี้แจงและประเมินความถูกต้องของเฟืองดาวเคราะห์ขนาดกะทัดรัดพิเศษด้วยการวัดความแปรผันของขนาดฟันเฟืองด้วยการวิเคราะห์ภาพระบบดิจิตอล ในรูปที่ 2.7 แสดงตัวเลขของ Micro-planetary Gear ที่ประกอบด้วยเฟืองสามประเภทที่ผลิตโดยกระบวนการการฉีดขึ้นรูปโลหะระดับไมโครและขนาดของ Planet Gear (โมดูล: m=0.07 มม. จำนวนฟัน: z=24) วัสดุที่ใช้ในการผลิตเฟืองขนาดเล็กพิเศษ ได้แก่ สเตนเลส 17-4PH ผงทำละอองน้ำ (D50=2 ไมโครเมตร) และสารยึดเกาะที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ปริมาณเศษผงในวัตถุดิบคือ 60% วัตถุดิบถูกฉีดขึ้นรูปโดยใช้เครื่องฉีดขึ้นรูปความเร็วสูง จากนั้นกำจัดตัวประสานออกที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงในก๊าซไนโตรเจนและเผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงในก๊าซอาร์กอน นอกจากนี้ชิ้นส่วนที่เผาแล้วยังชุบแข็งที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงอีกด้วย จากผลการประเมินได้ชี้ให้เห็นว่าระดับความแม่นยำของ Ultra-compact Planet Gear ยังไม่เทียบเท่า Ground Precise Gear ซึ่งมีระดับความแม่นยำอยู่ที่ประมาณ 5 (ระดับความแม่นยำของเฟือง) อย่างไรก็ตามมีการแสดงให้เห็นว่าระดับความแม่นยำของ Ultra-compact Gear อยู่ที่ประมาณ 7 ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้สำหรับการใช้งานทั่วไปในทางปฏิบัติ

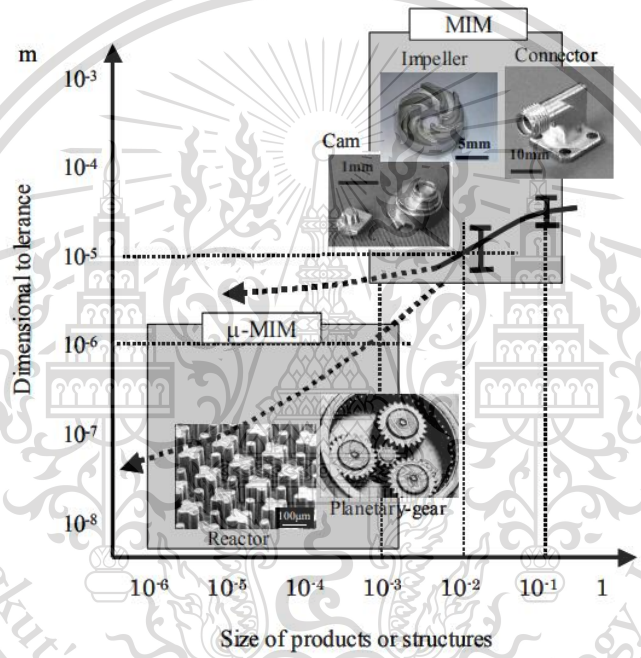


รูปที่ 2.7 Micro-planetary-gear manufactured; (a) Planetary-gear set; (b) Planet gear.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในรูปที่ 2.8 เป็นตัวอย่างทั่วไปของชิ้นงานที่ผลิตจากการฉีดขึ้นรูปผงโลหะ เช่น ข้อต่อ ใบพัด ลูกเบี้ยว Planetary Gear Set และเครื่องปฏิกรณ์ขนาดเล็ก ในชิ้นงานที่ผลิตจากการฉีดขึ้นรูปผงโลหะเหล่านี้จะมีขนาดเล็กลง ความแม่นยำของขนาดทางกายภาพสูงขึ้นเมื่อระดับของทศนิยมมีค่าน้อยลง เนื่องจากขนาดของชิ้นส่วนสามารถลดลงได้อีกมาก ทำให้มั่นใจได้ว่าความแม่นยำสามารถสูงขึ้นได้ขณะที่ขนาดของชิ้นงานเล็กลง อย่างไรก็ตามในการผลิตจริงไม่สามารถทำได้โดยง่าย สำหรับการผลิตชิ้นส่วนเหล่านี้ที่มีขนาดเล็กและโครงสร้างจุลภาคเรียกว่า การฉีดขึ้นรูปผงโลหะขนาดไมโคร

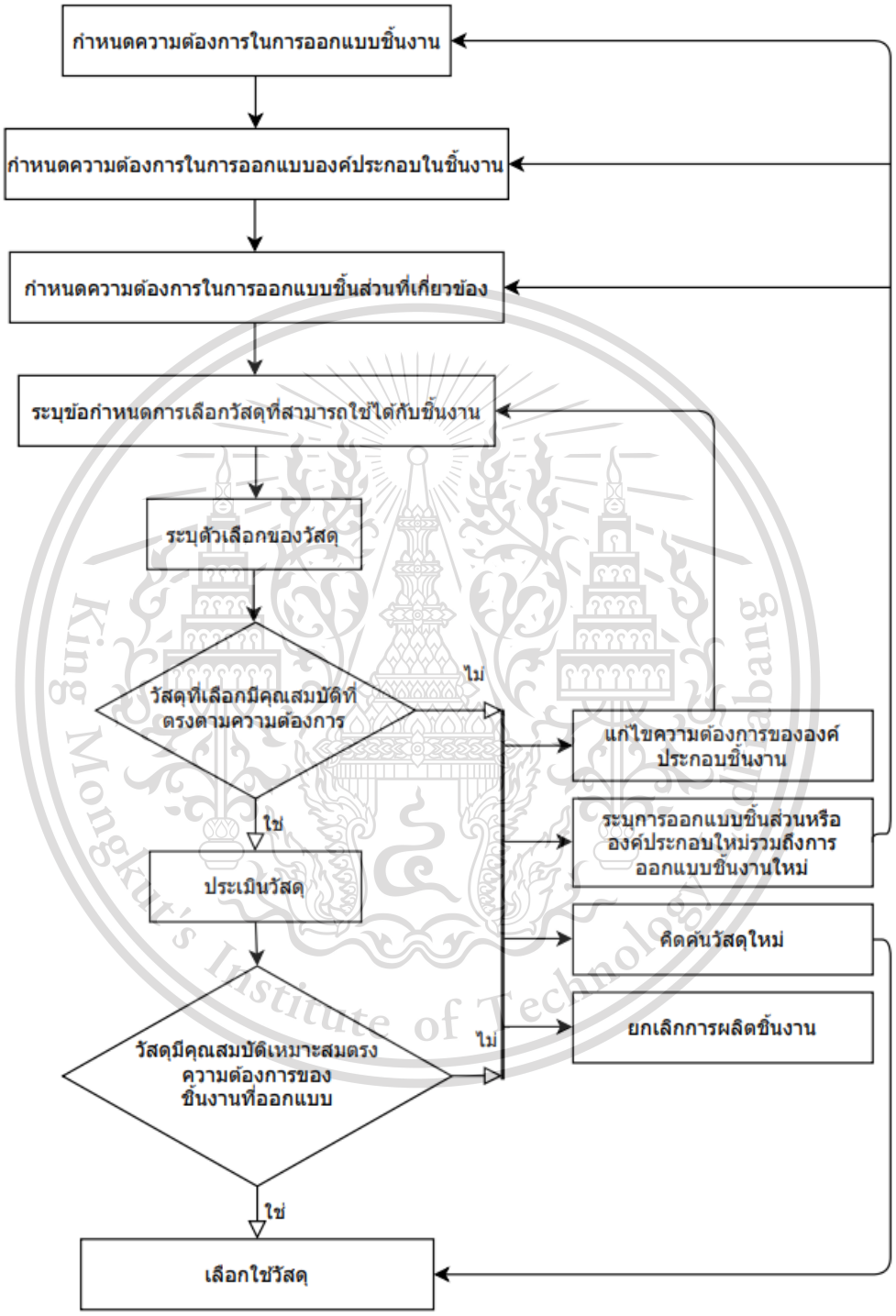


รูปที่ 2.8 Dimension tolerance เทียบกับขนาดชิ้นงานจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปผงโลหะ

2.4 กระบวนการขั้นตอนการเลือกใช้วัสดุ

เนื่องจากกระบวนการผลิตชิ้นงานจากผงวัสดุ ในขั้นตอนของการฉีดขึ้นรูปซึ่งเป็นการฉีดผงวัสดุเข้าสู่แม่แบบนั้นจำเป็นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงเพื่อทำให้ผงวัสดุและตัวประสานเกิดการละลายและอ่อนตัวลงทำให้เกิดความร้อนกับเครื่องจักรและใช้แรงดันสูงในการดันผงวัสดุออกจากกระบอกบรรจุและชิ้นส่วนที่สัมผัสกับผงวัสดุจำเป็นต้องทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดกับคุณสมบัติของชิ้นงานที่ผลิตออกมา โดยการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมนั้นมีหลักการและขั้นตอนดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.9 แผนภูมิแสดงขั้นตอนในการเลือกใช้วัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในระหว่างขั้นตอนการระบุและประเมินคุณลักษณะของวัสดุ หากพบว่าไม่มีวัสดุชนิดใดสามารถนำมาใช้กับองค์ประกอบของชิ้นงานได้สามารถปฏิบัติตามตัวเลือกดังต่อไปนี้

1. แก้ไขการออกแบบองค์ประกอบของชิ้นงาน
2. ปรับเปลี่ยนการออกแบบของชิ้นงานหรือส่วนประกอบย่อยที่ใช้องค์ประกอบของชิ้นงานโดยตรง
3. แก้ไขข้อกำหนดการออกแบบของชิ้นงาน
4. คิดค้นวัสดุใหม่
5. ยกเลิกการผลิตชิ้นงาน

การตรวจสอบและพิจารณาการเลือกใช้วัสดุเป็นสิ่งสำคัญและควรตรวจสอบออกมาโดยใช้ระยะเวลาที่สั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ หากพบว่าไม่มีวัสดุใดที่เหมาะสมกับการใช้งาน นักออกแบบสามารถปรับเปลี่ยนหรือแก้ไขการออกแบบชิ้นงานหรือองค์ประกอบอื่น ๆ เมื่อการดำเนินการผลิตยังไม่มีความซับซ้อนและยากต่อการแก้ไข ในทางกลับกันหากมีการตรวจสอบพบว่าไม่มีวัสดุใดที่เหมาะสมกับชิ้นงานหลังจากได้ดำเนินการผลิตไปพอสมควรแล้วจะทำให้นักออกแบบต้องพิจารณาถึงการคิดค้นวัสดุใหม่หรือยกเลิกการผลิตชิ้นงานการคิดค้นและสร้างวัสดุใหม่นั้นจะเป็นการเพิ่มต้นทุนให้กับโครงการและอาจมีความเสี่ยงในด้านต่าง ๆ เพิ่มเติม การเลือกใช้วัสดุที่ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานอาจทำให้ชิ้นงานที่ถูกผลิตออกมามีประสิทธิภาพต่ำและอาจทำให้เกิดผลกระทบในด้านอื่น ๆ ตามมา

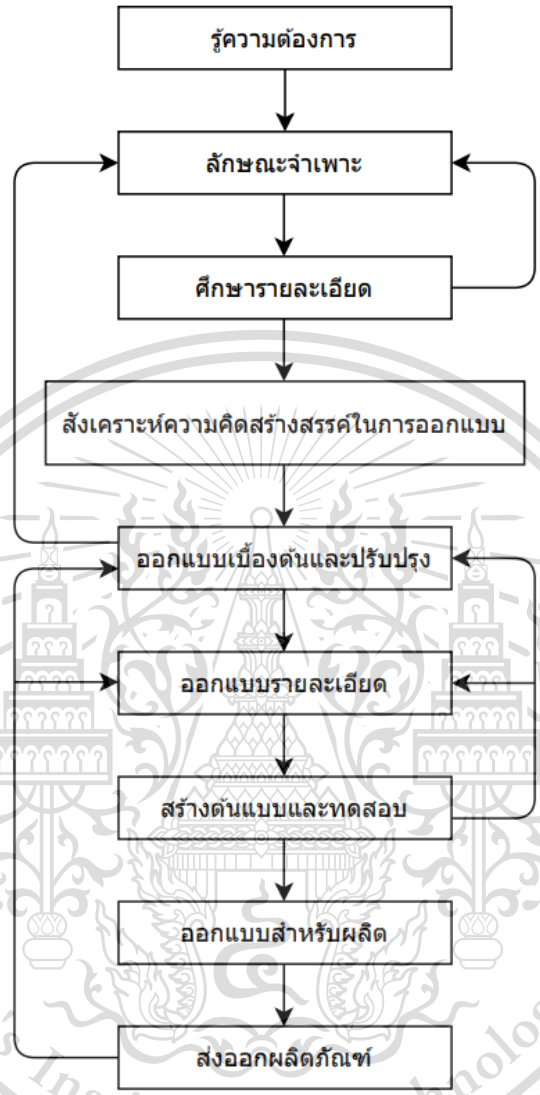
2.5 ทฤษฎีการออกแบบเครื่องจักร

2.5.1 ขั้นตอนการออกแบบ

การออกแบบในเชิงวิศวกรรม เพื่อให้ได้ระบบหรือชิ้นส่วนทางกล ควรเริ่มต้นลงมือทำอย่างไร มีตัวแปรไหนเป็นตัวควบคุมหรือมีผลต่อการตัดสินใจ และท้ายสุดงานออกแบบจะสิ้นสุดลงที่ใด ดังนั้นจะกล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบทั่วไปซึ่งงานบางประเภทอาจไม่เป็นไปตามขั้นตอนดังกล่าวก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดผลิตภัณฑ์และกรรมวิธีในการออกแบบ เขียนแสดงเป็นแผนภาพดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.10 แผนภาพการออกแบบที่มีวงป้อนกลับ

2.5.1.1 <u>กำหนดวัตถุประสงค์ในการออกแบบ</u>

ในการเริ่มต้นออกแบบผลิตภัณฑ์วิศวกรหรือผู้ออกแบบจำเป็นที่จะต้องรับรู้ถึงวัตถุประสงค์และความต้องการในการใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต อาจจะมีการศึกษาหรือหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องและจำเป็นที่จะต้องใช้ในการออกแบบเพื่อที่จะสามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ได้อย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพในด้านต่างๆ มากที่สุด การแข่งขันในด้านธุรกิจและอุตสาหกรรมก่อให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีและการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบรับความต้องการในด้านธุรกิจและอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.1.2 หลักเกณฑ์และข้อจำกัดในการออกแบบ

หลังจากได้ข้อสรุปเบื้องต้นและทราบจุดประสงค์ในการออกแบบผลิตภัณฑ์แล้ว ขั้นตอนนี้จะเป็นการรวบรวมข้อมูลและรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์รวมไปถึงหลักเกณฑ์และข้อจำกัดบางอย่างเพื่อใช้ในการออกแบบ เช่น ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่กำหนด อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ความสามารถในการใช้งานของผลิตภัณฑ์หรือสภาพแวดล้อมในการใช้งานผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้อาจจะมีการวิเคราะห์และคาดการณ์ถึงรายละเอียดบางอย่างที่อาจมีการแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงในภายหลังเนื่องจากสาเหตุบางอย่าง เช่น กรรมวิธีการผลิต ข้อจำกัดของผู้ผลิต เป็นต้น

2.5.1.3 ศึกษาค้นคว้ารายละเอียด

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาถึงรายละเอียดเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต รวมไปถึงการศึกษาลักษณะจำเพาะของผลิตภัณฑ์และรายรายละเอียดปลีกย่อยที่สำคัญ เช่น หลักการทำงานของผลิตภัณฑ์ การเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการผลิต การศึกษาตัวแปรบางชนิดที่เกี่ยวข้อง การแจกแจงหรือสรุปรายละเอียดขั้นตอนของการทำงาน ข้อจำกัดในการผลิตหรือการใช้งาน การวิเคราะห์และคาดการณ์ถึงความเสียหายหรือความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตหรือการใช้งาน เป็นต้น

2.5.1.4 สังเคราะห์ความคิดในการออกแบบ

ขั้นตอนนี้จะเป็นการสังเคราะห์และรวบรวมข้อมูลหรือแนวคิดในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่สรุปได้จากขั้นตอนที่ผ่านมา อาจมีการเสนอแนะหรือการระดมความคิดจากผู้ที่ทำหน้าที่ต่างๆที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและการผลิต เพื่อที่จะสามารถตกลงและหาข้อสรุปของขั้นตอนการออกแบบและการผลิตให้มีความเหมาะสมและเป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย

2.5.1.5 การออกแบบเบื้องต้นและการปรับปรุง

หลังจากผ่านกระบวนการสังเคราะห์ความคิดในการออกแบบแล้ว ขั้นตอนนี้จะเป็นการสรุปข้อมูลทุกอย่างที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์และเลือกขั้นตอนที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบขึ้นมา เช่น การเขียนแบบผลิตภัณฑ์ วัสดุที่ใช้ในการผลิต ขั้นตอนที่ใช้ในการผลิต การประเมินผลของอุปกรณ์ ระยะเวลาโดยประมาณที่ต้องใช้ หากพบปัญหาหรือข้อผิดพลาดบางอย่างในขั้นตอนนี้จะสามารถกลับไปแก้ไขถึงปัญหาบางอย่างในขั้นตอนที่ผ่านมาได้ก่อนทำการผลิตชิ้นงานต้นแบบขึ้น เพื่อเป็นการป้องกันการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการผลิต หรือระยะเวลาในการผลิต เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.1.6 การออกแบบรายละเอียด

ขั้นตอนนี้จะเป็นการลงรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ ส่วนประกอบ ขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ การเผื่อค่าพิกัดขนาดของชิ้นงาน โดยขั้นตอนนี้ปกติแล้วผู้ผลิตจะทำงานไปพร้อมกับวิศวกรที่ออกแบบ เพื่อเขียนแบบที่วิศวกรกำหนดขึ้น วิศวกรกรจะต้องให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็น เช่น รูปแบบเบื้องต้นที่วิศวกรร่างขึ้น ซึ่งหมายความว่าวิศวกรจำเป็นที่จะต้องใช้ความรู้ทางกลศาสตร์ ความแข็งแรงของวัสดุ กลศาสตร์ของไหล โลหะวิทยากระบวนการผลิตโดยสามารถหาผู้ที่มีความชำนาญการในด้านนี้มาให้คำปรึกษาได้เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตต่อไป

2.5.1.7 การสร้างชิ้นงานต้นแบบและทดสอบ

หลังจากที่รายละเอียดต่างๆเสร็จสมบูรณ์และพร้อมที่จะทำการผลิตแล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตชิ้นงานต้นแบบและการทดสอบเพื่อประเมินผลที่ได้เช่น ผลิตภัณฑ์สามารใช้งานได้ตรงตามความต้องการของผู้ออกแบบหรือไม่ การใช้งานผลิตภัณฑ์มีประสิทธิภาพในระดับใดและเป็นที่น่าพอใจหรือไม่ ผลจากการทดสอบอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงการออกแบบเบื้องต้นหรือรายละเอียดบางประการหากพบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์

2.5.1.8 ออกแบบขั้นตอนสำหรับกระบวนการผลิต

ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงบางอย่างในขั้นตอนการผลิตเพื่อเลือกขั้นตอนการผลิตที่มีความเหมาะสมมากที่สุดโดยอาจจะปรับเปลี่ยนขั้นตอนการผลิตเพื่อให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต สามารถผลิตให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น ใช้ระยะเวลาในการผลิตน้อยลงหรือสามารถผลิตให้ได้ในปริมาณที่มากขึ้น เป็นต้น

2.5.1.9 การแก้ไขและปรับปรุงชิ้นงาน

โดยปกติแล้วหลังจากผลิตชิ้นงานต้นแบบและทำการทดสอบแล้วจะมีการผลิตและทดสอบขึ้นอีกครั้งหนึ่ง เพื่อเป็นตรวจสอบให้แน่ใจว่าจะไม่เกิดปัญหาขึ้นหลังจากการผลิตจริง หรือหากเกิดปัญหาขึ้นจะสามารถแก้ไขถึงสาเหตุของปัญหาได้อย่างแม่นยำและแก้ไขได้อย่างถูกต้อง

2.5.2 แนวคิดในการออกแบบชิ้นส่วน

การออกแบบชิ้นส่วนทางกลในเบื้องต้นคอการออกแบบให้ชิ้นส่วนสามารถทำหน้าที่ที่ระบุได้ เช่น คานที่ทำจากวัสดุที่กำหนดไว้ต้องมีรูปแบบที่ทำให้สามารถรับโมเมนต์ดัดในการใช้งานได้ โดยที่ความเค้นและระยะโก่งไม่เกินค่าที่กาหนด จากนั้นถ้าจะให้มีสมรรถนะที่ดีขึ้นก็สามารถทำการปรับปรุงรูปแบบ เช่น เพิ่มความแข็งแรงต่อน้ำหนักคานโดยใช้หน้าตัดกลวง หน้าตัดรูปตัวไอ หรือเจาะช่องเปิดในบางบริเวณ

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หรืออาจหาทางลดต้นทุนค่าวัสดุโดยใช้คานประกอบ รวมทั้งการใช้หลักการของคานรับความเค้นเต็ม (Fully Stressed Beam) มาออกแบบรูปร่าง ซึ่งแนวทางที่กล่าวมาจัดเป็นวิธีการเฉพาะทางอย่างหนึ่งในการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการออกแบบ

2.5.3 ความรู้พื้นฐานและเครื่องมือที่จำเป็น

ในการศึกษาวิธีแก้ปัญหาการออกแบบที่เหมาะสมที่สุดของชิ้นส่วนทางกลหรือเครื่องจักรจำเป็นต้องอาศัยความรู้ทางคณิตศาสตร์ กลศาสตร์ วิธีการเชิงตัวเลข และการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ดังนั้นตัวผู้ออกแบบเองควรทำการทบทวนพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ กลศาสตร์และการออกแบบเครื่องกล ในส่วนของพื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น ผู้ออกแบบใช้ประกอบการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในภาษาโปรแกรมอื่น ๆ ได้ตามความถนัด นอกจากนี้ความเข้าใจทางด้านเรขาคณิตก็เป็นสิ่งสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่ากัน เนื่องจากคณิตศาสตร์ทุกแขนงล้วนเป็นตัวแทนของรูปร่างทั้งสิ้น การเข้าใจคณิตศาสตร์ของการหาจุดที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องทำโดยการมองเห็นรูปร่างที่เกี่ยวข้องพร้อมกันไปด้วย ในการนี้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปเพื่อการออกแบบชิ้นส่วน จะเป็นประโยชน์อย่างมาก โปรแกรม SOLIDWORKS เป็นโปรแกรมออกแบบ 3 มิติ สามารถออกแบบชิ้นงานได้ครอบคลุมทุกกลุ่มอุตสาหกรรม และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อช่วยวิศวกรลดระยะเวลาในการออกแบบและลดข้อผิดพลาดจากการสื่อสารระหว่างการออกแบบ นอกจากโปรแกรม SOLIDWORKS แล้วยังมีโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการคำนวณและเขียนแบบที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นที่ผู้ออกแบบควรใช้เป็นเครื่องมือ เช่น โปรแกรมในตระกูล MATLAB หรือ โปรแกรม Microsoft Excel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานศึกษาการเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานและขั้นตอนต่าง ๆ ในการดำเนินงานของปริญญานิพนธ์ ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

1. การออกแบบการทำงานและลักษณะภาพรวมของเครื่อง
2. วัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้าง
3. การคำนวณค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการสร้างเครื่อง
4. การกำหนดวัสดุชิ้นส่วนและอุปกรณ์ควบคุม
5. แบบวงจรนิวเมติกส์
6. แบบวงจรไฟฟ้าควบคุมฮีตเตอร์
7. การผลิตชิ้นส่วนและการประกอบ

3.1 การออกแบบการทำงานและลักษณะภาพรวมของเครื่อง

ในการออกแบบการทำงานของเครื่องจะประยุกต์มาจากขั้นตอนกระบวนการผลิตชิ้นงานวัสดุผงในอุตสาหกรรมปัจจุบัน ซึ่งหลักการและขั้นตอนที่นำมาใช้มีดังนี้

1. การให้ความร้อนกับวัสดุผงภายในกระบอกบรรจุ
2. การฉีดวัสดุผงเข้าสู่แม่แบบด้วยแรงดัน

โดยการทำงานของเครื่องจะแบ่งเป็น 2 ส่วนตามขั้นตอนการทำงาน ได้แก่

3.1.1 ส่วนสำหรับฉีดผงวัสดุ ประกอบด้วย

1. หัวกดสำหรับฉีดผงวัสดุ (Punch)
2. ระบบนิวเมติกส์ (Pneumatic system)
3. เครื่องอัดอากาศ (Air compressor)
4. อุปกรณ์ควบคุมแรงดันอากาศ

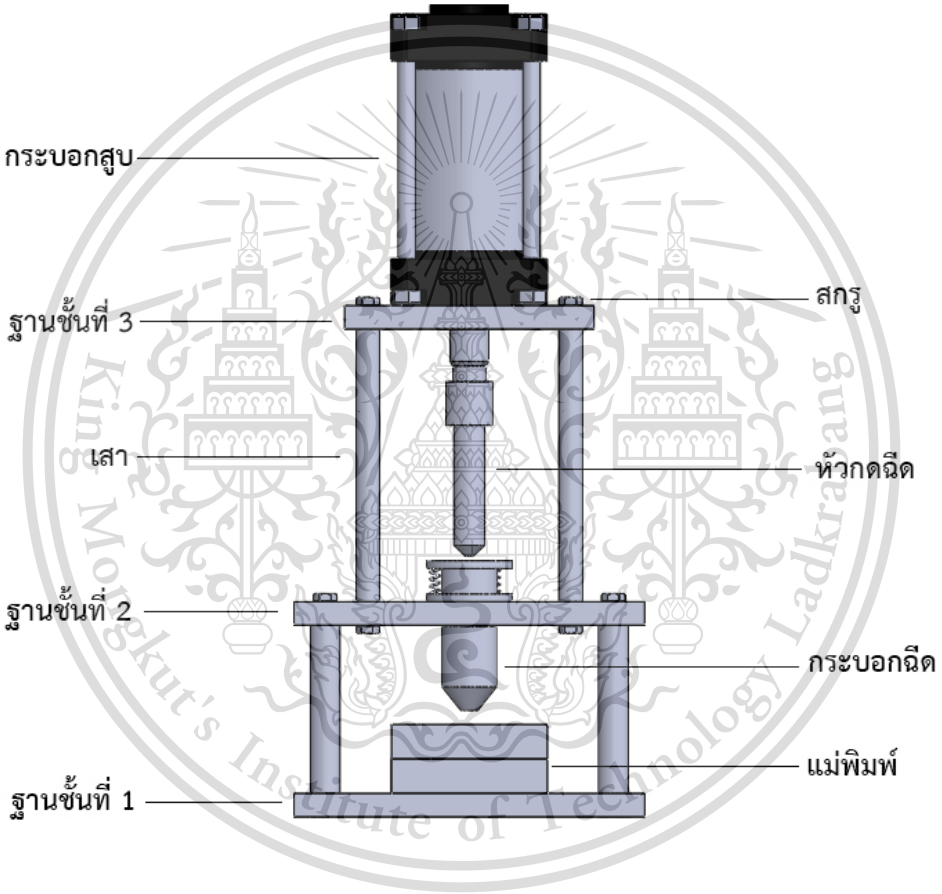
3.1.2 ส่วนสำหรับให้ความร้อนวัสดุผงและแม่แบบ ประกอบด้วย

1. กระบอกบรรจุวัสดุผง
2. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิภายในกระบอกบรรจุ
3. แม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชุดอุปกรณ์ทั้ง 2 ส่วนจะถูกประกอบเข้าด้วยกันผ่านโครงสร้างของเครื่องยกเว้นเครื่องอัดอากาศ เนื่องจากมีขนาดใหญ่ จึงใช้ท่อลมสำหรับพาอากาศเข้าสู่ระบบนิวเมติกส์แทน และสามารถสร้างแบบจำลองลักษณะรูปร่างของเครื่องปราศจากชุดอุปกรณ์ควบคุม จากขั้นตอนการทำงานข้างต้นผ่านโปรแกรมออกแบบสามมิติ (SOLIDWORKS) ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลองลักษณะรูปร่างของเครื่องฉีดวัสดุผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทำโครงสร้าง

วัสดุที่จะถูกนำมาใช้ในการผลิตชิ้นส่วนของเครื่องจักรจำเป็นต้องมีความแข็งแรง, เสียรูปได้ยาก, มีจุดหลอมเหลวที่สูง, ทนต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีและสามารถรองรับน้ำหนักจากชิ้นส่วนอื่นๆได้ โดยวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาผลิตชิ้นส่วนจึงเป็นวัสดุประเภทโลหะ จากการศึกษาข้อมูลของโลหะแต่ละชนิดพบว่าโลหะที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมได้แก่ เหล็กกล้าไร้สนิม sus 304 และ อะลูมิเนียม 5083 โดยมีรายละเอียดและคุณสมบัติต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของสเตนเลส 304

คุณสมบัติทางกายภาพ	**หน่วยเมตริก**	**หมายเหตุ**
ความหนาแน่น	8.00 g/cm^3	
คุณสมบัติทางกล		
ความแข็งแรงดึงสูงสุด	505 MPa	
ความแข็งแรงคราก	215 MPa	ที่ความเครียด 0.200%
มอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น	193 GPa	
อัตราส่วนปัวซอง	0.29	
มอดูลัสของแรงเฉือน	77.0 GPa	
คุณสมบัติทางอุณหภูมิ		
ความจุความร้อนจำเพาะ	0.500 J/g-°C	ที่อุณหภูมิ 0.000 - 100 °C
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	16.2 W/m-K	ที่อุณหภูมิ 0.000 - 100 °C
จุดหลอมเหลว	1400 – 1455 °C	
อุณหภูมิของแข็ง	1400 °C	
อุณหภูมิของเหลว	1455 °C	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของอะลูมิเนียม 5083

คุณสมบัติทางกายภาพ	หน่วยเมตริก	หมายเหตุ
ความหนาแน่น	2.66 g/cm^3	
คุณสมบัติทางกล		
ความแข็งแรงดึงสูงสุด	300 MPa	
	>= 270 MPa	ที่ความหนา 38.13 - 76.2 mm
	>= 275 MPa	ที่ความหนา 6.35 - 38.81 mm
ความแข็งแรงคราก	190 MPa	
	>= 115 MPa	ที่ ความหนา 38.13 - 76.2 mm
	>= 125 MPa	ที่ ความหนา 6.35 - 38.81 mm
ความทนแรงดึง	70.3 GPa	
ความทนแรงอัด	71.7 GPa	
อัตราส่วนปัวซอง	0.33	
มอดูลัสของแรงเฉือน	26.4 MPa	
Shear Strength	180 MPa	
คุณสมบัติทางอุณหภูมิ		
ความจุความร้อนจำเพาะ	0.900 J/g-°C	
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	117 W/m-K	
จุดหลอมเหลว	590.6 - 638 °C	

3.3 การคำนวณค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการสร้างเครื่อง

3.3.1 คำนวณแรงสูงสุดในการฉีดที่กระบอกสูบสามารถทำได้

ในการฉีดขึ้นรูปวัสดุผงลงในแม่พิมพ์กำหนดแรงดันลมจากปั๊มลมเข้ากระบอกสูบที่ 7 bar หรือ 700,000 N/m^2 กำหนดเส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดของกระบอกสูบวงกลม 8 cm สามารถหาแรงสูงสุดจากสมการที่ (3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$P = \frac{F}{A} \tag{3.1}$$

P คือ แรงดันจากปั๊มลมเข้ากระบอกสูบ กำหนดไว้ที่ 7 bar หรือ 700,000 N/m^2

F คือ แรงกระทำสูงสุดในการฉีดที่กระบอกสูบสามารถทำได้

A คือ พื้นที่หน้าตัดวงกลมของปลายกระบอกสูบ มีค่า 5.0265×10^{-3} m^2

แทนค่าลงไปในสมการที่ (3.1) ได้

$$F = (700{,}000)(5.0265 \times 10^{-3})$$
$$F = 3518.58\ N$$

ดังนั้น แรงสูงสุดในการฉีดที่กระบอกสูบสามารถทำได้คือ 3518.58 N

3.3.2 คำนวณค่าความเค้นที่ใช้ในการออกแบบและพื้นที่หน้าตัดเสาอย่างน้อยที่สุด

เนื่องจากมีเสาที่ใช้รับแรงอัดในการฉีด 4 ต้น ดังนั้นแรงกระทำในแต่ละเสาคือ 879.645 N เมื่อได้แรงที่เสาแต่ละต้นต้องรับแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการหาพื้นที่หน้าตัดอย่างน้อยที่สุดของเสาแต่ละต้น กำหนดชนิดเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้างเครื่อง คือ SUS 304 ซึ่งมีค่า Yield Strength อยู่ที่ 215 MPa และกำหนดค่า Safety Factor ไว้ที่ 1.5 สามารถหาค่าความเค้นออกแบบได้จากสมการที่ (3.2)

$$\sigma_d = \frac{\sigma_y}{SF} \tag{3.2}$$

σ_d คือ ความเค้นในการออกแบบ

σ_y คือ ความเค้นวัสดุที่ใช้ในการออกแบบมีค่า 215 MPa

SF คือ Safety Factor มีค่า 1.5

$$\sigma_d = \frac{215\ \times\ 10^6}{1.5} = 143.33 \times 10^6$$

เมื่อเราทราบค่าความเค้นในการออกแบบแล้วจากนั้นทำการแทนค่าเพื่อหาพื้นที่หน้าตัดอย่างน้อยที่สุดของเสาแต่ละต้นจากสมการที่ (3.3)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{3.3}$$

σ คือ ความเค้นมีค่า 143.33x10^6 MPa

F คือ แรงที่กระทำกับเสามีค่า 879.645 N

A คือ พื้นที่หน้าตัดเสา

$$A = \frac{879.645}{(143.33 \times 10^6)} = 6.137 \times 10^{-6}\ m^2$$

ดังนั้น พื้นที่หน้าตัดอย่างน้อยที่สุดของเสา คือ 6.137 × 10^{-6} m^2

3.3.3 คำนวณหาขนาดการรับน้ำหนักสูงสุดกับความสูงของเสา

การโก่งเนื่องจากการดัด (Flexural Buckling) เป็นการโก่งที่เกิดจากความชะลูดของเสาที่รับแรงอัดร่วมศูนย์จะวิบัติด้วยรูปแบบการโก่งจากการดัดทั้งหมดกำลังการโก่งวิกฤตแบบอิลาสติกสามารถหาได้จากสมการที่ (3.4)

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{KL/r^2} \tag{3.4}$$

F_e คือ แรงที่ทำให้เกิดการโก่งวิกฤตแบบอิลาสติกของเสา

E คือ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็ก

K คือ ตัวคูณความยาวประสิทธิผล

L คือ ความยาวที่ปราศจากการค้ำยัน

r คือ รัศมีไจเรชั่นของหน้าตัดทั้งหมด

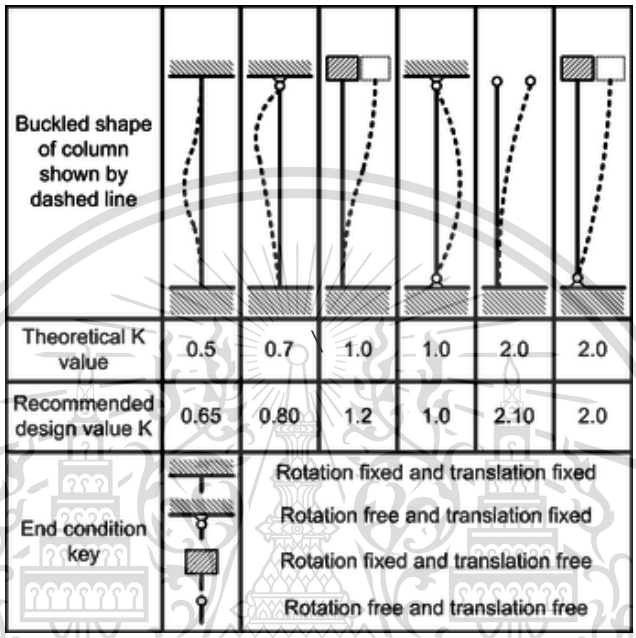
KL/r คือ ผลของอัตราส่วนความชะลูด

มาตรฐาน AISC ได้ให้ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับการใช้ตัวคูณประกอบความยาวประสิทธิผล (Effective Length Factor) ที่ต้องพิจารณาในส่วนของการออกแบบโครงสร้างรับแรงอัดโดยค่า K ทั้งตามทฤษฎีและที่ให้ใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ออกแบบดังแสดงในรูปที่ 3.2 เสาเมื่อพิจารณาเป็นเสาเดี่ยวทั้งที่มีการเซ (Side Sway) และไม่มีการเซ (Non Sway) ซึ่งจะเห็นว่าค่าตามทฤษฎีมีค่าที่น้อยกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบเพราะในทางปฏิบัติจริงไม่สามารถยึดปลายเสาได้ตรงตามทฤษฎี



รูปที่ 3.2 แสดงตารางการกำหนดค่า K มาตรฐาน AISC สำหรับการออกแบบ

จากสมการที่ (3.4) เราสามารถนำตัวแปรตัวคูณความยาวประสิทธิผลและความยาวที่ปราศจากการค้ำยันมาใช้ในการเทียบกับรัศมีไจเรชั่นว่าเพียงพอต่อการรับแรงกดหรือไม่โดยสามารถหาค่ารัศมีไจเรชั่นของเสาทรงกระบอกตันได้ดังสมการที่ (3.5)

$$R_k = R/\sqrt{2} \tag{3.5}$$

R_k คือ รัศมีไจเรชั่น

R คือ รัศมีของเสา

ซึ่งเมื่อนำรัศมีของเสามาคำนวณจะได้รัศมีไจเรชั่นเท่ากับ

$$R_k = \frac{7.5}{\sqrt{2}} = 5.30$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การคำนวณขนาดการรับน้ำหนักสูงสุดของเสาเหล็กวงกลมตันพื้นที่หน้าตัด 6.137 × 10-6 m^2 สูง 108 mm ค่ารัศมีไจเรชั่นคือ 5.30 mm กำหนดค่า K ในการออกแบบ คือ 0.65 ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับรัศมีไจเรชั่นจากสมการที่ (3.6)

$$\text{Value of Effective Length} = K \times L/180 \qquad (3.6)$$

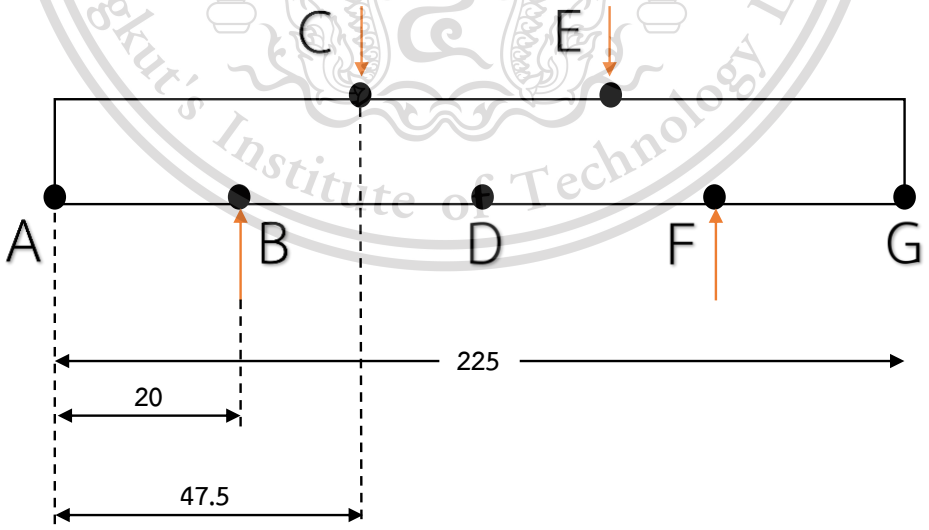
ซึ่งค่า K ของเสาที่ถูกยึดจากปลายทั้ง 2 ข้างจะได้เท่ากับ 0.65 และความสูงของเสาเท่ากับ 108 มิลลิเมตร จะได้เท่ากับ

$$\text{Value of Effective Length} = (0.65 \times 108)/180 = 0.39$$

ซึ่งค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่ากว่ารัศมีไจเรชั่นจึงสามารถสรุปได้ว่ารัศมีไจเรชั่นของเสาเพียงพอต่อการรับแรงกด

3.3.4 คำนวณหาค่าความหนาของแผ่นรับแรงกด

รูปที่ 3.3 ใช้สำหรับประกอบคำนวณหาความหนาอย่างน้อยของแผ่นอลูมิเนียม 5083 ความยาว 225 มิลลิเมตร โดยจุด B C E และ F คือจุดที่แผ่นต้องรับแรงจากเสาเวลาทำการฉีดวัสดุผงโดยมีระยะห่างจากขอบแผ่นชิ้นงาน 20 มิลลิเมตรสำหรับจุด B และ F ส่วนจุด C และ E ห่างจากขอบชิ้นงานเป็นระยะ 47.5 มิลลิเมตร จุด A และ G คือจุดขอบของแผ่น และจุด D คือจุดกึ่งกลางแผ่น สัดส่วนระยะรูปอาจไม่เป็นไปตามระยะจริงแต่ใช้เพื่อประกอบการอธิบายการคำนวณให้เข้าใจมากขึ้น ผลลัพธ์จากสมการที่ (3.1) แรงกระทำในแต่ละเสาคือ 879.645 N ในการคำนวณเราใช้ค่าเผื่อเป็น 900 N เพื่อให้สะดวกในการคำนวณ



รูปที่ 3.3 การคำนวณหาค่าความหนาของแผ่นรับแรงกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$\sum M_F = 0$

$$F_B = F_C + F_E$$
$$(27.5 + 65 + 65 + 27.5)x = 900(65 + 65 + 27.5) + (900 \times 27.5)$$
$$185x = 141{,}750 + 24{,}750$$
$$F_B = x = 900N$$
$$M_{\text{ตาม}} = M_{\text{ทวน}}$$

$\sum F_Y$;

$$900 + 900 = 900 + F_F$$
$$F_F = 900N$$

take moment ที่ A $\sum M_A = 0$

take moment ที่ B $\sum M_B = 0$

take moment ที่ C $\sum M_C$

$$(900)(27.5) = 24{,}750$$

take moment ที่ D $\sum M_D$

$$(900)(65 + 27.5) = (900)(65)$$
$$\sum M_D = 24{,}750$$

take moment ที่ E $\sum M_E$

$$(900)(27.5 + 65 + 65) = (900)(65 + 65)$$
$$\sum M_E = 24{,}750$$

take moment ที่ F $\sum M_F$

$$900(27.5 + 65 + 65 + 27.5) = 900(65 + 65 + 27.5) + 900(27.5)$$
$$\sum M_F = 0$$

take moment ที่ G $\sum M_G$

$$900(205) + 900(20) = 900(177.5) + 900(47.5)$$
$$\sum M_G = 0$$

$Moment_{Max} = 24{,}750\ {}^{N}/_{mm} = 24.75\ {}^{N}/_{m}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กำหนดค่า Moment of Inertia คือ $\frac{1}{12bh^3}$ ค่า σ_{5083} คือ 125 × 10^6
คำนวณหาค่าความหนาแผ่นรับแรงกดอย่างน้อยจากสมการที่ (3.7)

$$\sigma_{max} = \frac{M_C}{\frac{1}{12}bh^3} \tag{3.7}$$

σ_{max} คือ ความเค้นปกติสูงสุดในชิ้นงานมีค่า 125 x 10^6 MPa

M คือ ผลรวมโมเมนต์จากสมการสมดุลมีค่า 24.75 N

c คือ ระยะตั้งฉากจากแกนกลางถึงจุดที่ไกลที่สุดจากแกนกลางเป็นจุดที่ความเครียดปกติสูงสุด

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดมีค่า $\frac{1}{12bh^3}$

$$125 \times 10^6 = \frac{24.75(0.5h)}{\frac{1}{12}(225 \times 10^{-3})h^3}$$

$$h = 6.89 \times 10^{-3}$$

จากการแทนค่าลงในสมการที่ (3.7) เราจะทราบค่า h ซึ่งเป็นค่าความหนาอย่างน้อยของแผ่นอลูมิเนียม 5083 ความยาว 225 mm. คือ 6.89 × 10^{-3} m หรือ 6.89 mm.

3.4 การกำหนดวัสดุชิ้นส่วนและอุปกรณ์ควบคุม

เนื่องจากส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องฉีดผงวัสดุจำเป็นต้องต้องมีความแข็งแรงและสามารถทำงานได้ในอุณหภูมิสูงโดยที่ไม่เกิดการเสียหาย จึงเลือกใช้วัสดุประเภทโลหะโดยชิ้นส่วนทั้งหมดของเครื่องจะใช้เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304 ยกเว้นส่วนฐานของเครื่องใช้อะลูมิเนียม 5083 เนื่องจากมีความแข็งแรงที่ใกล้เคียงและมีน้ำหนักที่เบากว่าและเป็นการลดภาระแรงที่เสาต้องรับและมีการแจกแจงชิ้นส่วนทั้งหมดดังต่อไปนี้

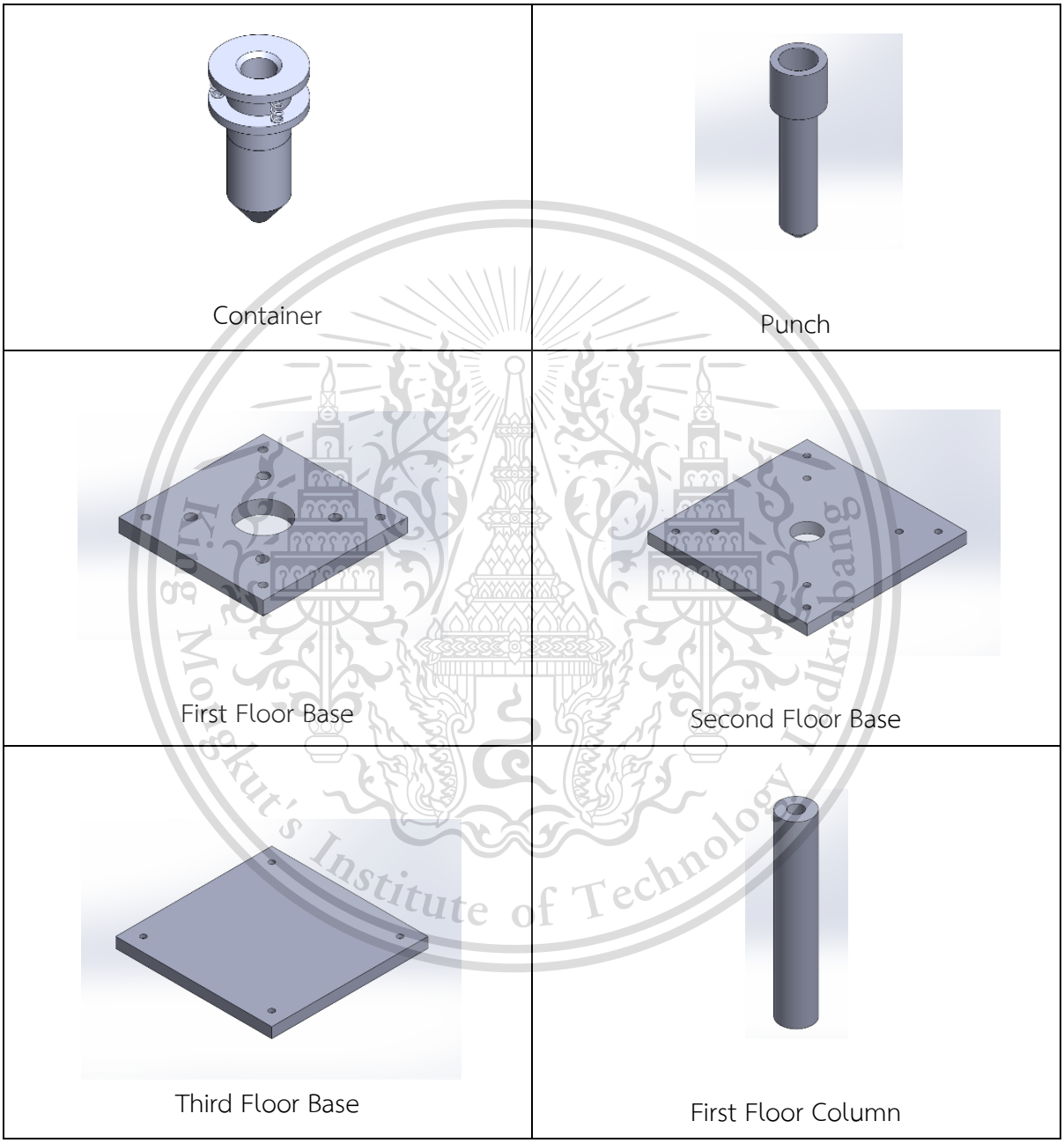
3.4.1 ชิ้นส่วนโครงสร้างเครื่องและแม่แบบ

เมื่อเราทราบค่าจากการคำนวณค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการสร้างเครื่องแล้ว จากนั้นนำค่าที่ทราบไปออกแบบชิ้นส่วน กำหนดขนาดและรูปร่างในโปรแกรมเขียนแบบ SOLIDWORKS ประกอบด้วย กระบอกฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

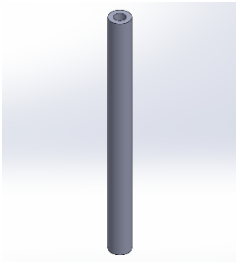
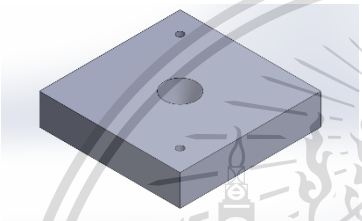
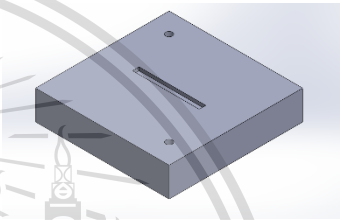
หัวกดฉีด ฐานชั้นที่1 ฐานชั้นที่2 ฐานชั้นที่3 เสาชั้นที่1 เสาชั้นที่2 แม่แบบส่วนบน แม่แบบส่วนล่าง และอุปกรณ์ยึดโครงสร้างเข้าด้วยกันด้วยสกรูและนัตสเตนเลส M10x1.25 ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ชิ้นส่วนโครงสร้างเครื่องและแม่แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

 Second Floor Column	 Screw and Nut
 Top Mold	 Bottom Mold

รูปที่ 3.4 ชิ้นส่วนโครงสร้างเครื่องและแม่แบบ (ต่อ)

3.4.2 ชิ้นส่วนวงจรลมนิวเมติกส์

วงจรลมเป็นส่วนในการขับเคลื่อนหัวกดฉีดวัสดุผ่านกระบอกฉีดที่ทำการละลายผงวัสดุกับตัวประสาน ซึ่งประกอบด้วย กระบอกสูบ ตัวปรับวัดแรงดันลม วาล์วปรับทิศทางลมและท่อลมดังรูปที่ 3.5

 Cylinder	 Air Pressure Gauge and Regulator

รูปที่ 3.5 ชิ้นส่วนวงจรลมนิวเมติกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

 5/3 Valve	 Air Tube

รูปที่ 3.5 ชิ้นส่วนวงจรลมนิวเมติกส์ (ต่อ)

3.4.3 ชิ้นส่วนวงจรไฟฟ้าชุดควบคุมฮีตเตอร์

ส่วนของวงจรไฟฟ้าควบคุมฮีตเตอร์ติดอยู่กับกระบอกฉีดเพื่อทำการละลายผงวัสดุและตัวประสานเข้าด้วยกันก่อนโดนหัวกดฉีดกดลงไปในแม่แบบดังรูปที่ 3.6

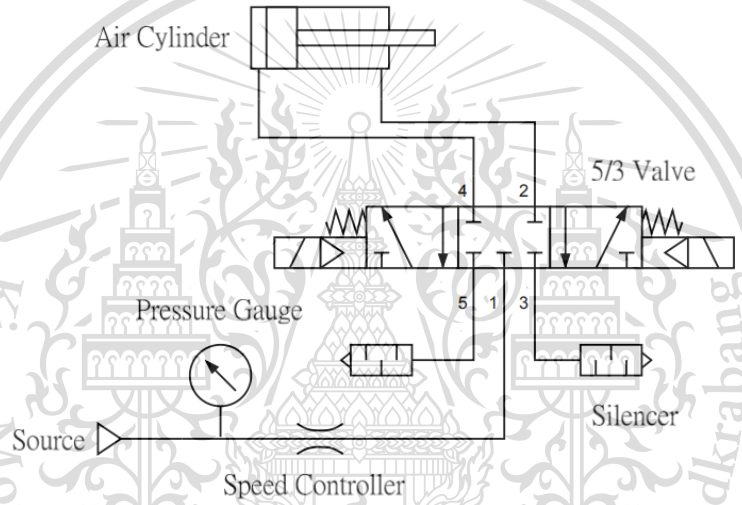
 Omron E5CK Controller	 SSR
 Thermocouple	 Band Heater

รูปที่ 3.6 ชิ้นส่วนวงจรไฟฟ้าชุดควบคุมฮีตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 แบบวงจรนิวเมติกส์

วงจรนิวเมติกส์ที่ใช้เป็นระบบขับเคลื่อนเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงให้ทำงานเริ่มจากการต่อท่อลมเข้ากับปั๊มลม (Source) ลมจากปั๊มวิ่งตามท่อลมผ่านตัววัดแรงดันลม (Pressure Gauge) ผ่านตัวปรับแรงดันลม (Speed Controller) ใช้สำหรับปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกดฉีดให้เคลื่อนที่เร็วหรือช้า ลมวิ่งเข้าวาล์วปรับทิศทางลม 5/3 ใช้สำหรับปรับทิศทางลมเพื่อดันกระบอกสูบกลับยังตำแหน่งแหน่งเดิมเมื่อทำการฉีดผงวัสดุเสร็จแล้ว ลมวิ่งเข้ากระบอกสูบและออกจากกระบอกสูบมายังวาล์วปรับทิศทาง จากนั้นลมถูกปล่อยออกทางตัวเก็บเสียง (Silencer) เพื่อเก็บเสียงลมที่ปล่อยออกมาดังแสดงในรูปที่ 3.7



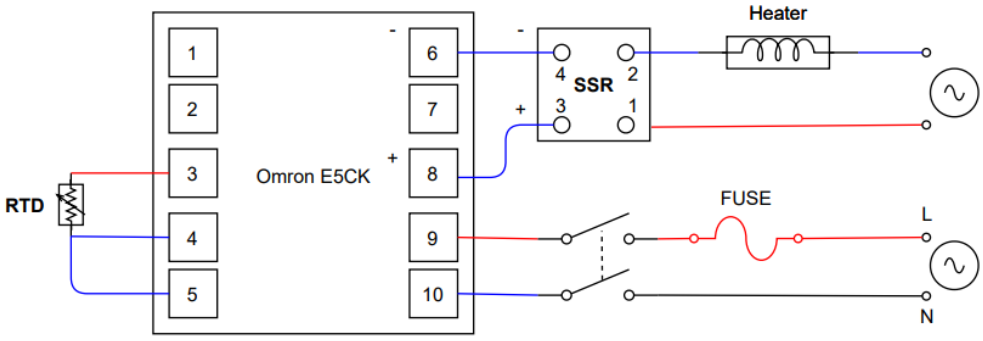
รูปที่ 3.7 วงจรลมนิวเมติกส์

3.6 แบบวงจรไฟฟ้าชุดควบคุมฮีตเตอร์

วงจรไฟฟ้าชุดควบคุมฮีตเตอร์เริ่มจากต่อตัวเซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ (Thermo Couple) เข้ากับขั้ว 3 4 5 ของตัวเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Controller) จากนั้นต่อขาขั้วบวกจากขั้ว 8 และขาขั้วลบจากขั้ว 6 ของตัวเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Controller) ไปต่อเข้ากับขั้วที่ 3 4 ของตัว SSR ตามลำดับ แล้วต่อสายออกจากขั้ว 2 ของ SSR เข้าตัวทำความร้อน (Heater) ผ่านไปยังไฟสัญญาณสถานะการทำงานและต่อ SSR ที่เหลือหนึ่งขั้วเข้าขั้ว 9 ของตัวเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Controller) ร่วมกับขาปลั๊กสาย L แล้วจ่อสายอีกขาของตัวไฟสัญญาณสถานการณ์ทำงานเข้ากับขั้ว 10 ของ ตัวเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Controller) ร่วมกับขาปลั๊กสาย N ดังแสดงในรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 วงจรไฟฟ้าควบคุมฮีตเตอร์

3.7 การผลิตชิ้นส่วนและการประกอบ

ในการสร้างเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผงมีการนำความรู้ในการใช้เครื่องจักรและเครื่องมือช่าง เช่น การกลึง การกัด การไส การเจียร การกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM) ทำออกมาแต่ละชิ้นส่วนให้ได้ขนาดและรูปร่างตามที่กำหนด โดยชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนใช้วิธีการทำที่ต่างกันออกไปดังขั้นตอนต่อไปนี้ เริ่มจากนำสเตเลสแท่งกลมตันมากลึงปาดหน้าด้านหนึ่งออกจนเรียบเพื่อทำการวัดระยะใช้ทำเสา (Column) โครงเครื่องขนาดความยาว 108 mm และ 175 mm ต่อมาทำการเลื่อยออกให้ได้ขนาดตามที่ต้องการแล้วเข้าเครื่องกลึงทำการปอกลดขนาดแท่งเหล็กจากปกติให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลางของเสาขนาด 15 mm ทั้งสองเสา จากนั้นเจาะรูลึกเข้าไปในเสา 20 mm ทั้งสองด้านเพื่อใช้ทำเกลียวในรับกับชุดสกรูไว้ใช้ยึดเสากับฐานตามรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 ชิ้นส่วนเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชิ้นต่อมากลึงชิ้นงานกระบอกบรรจุวัสดุผง (Container) นำแท่งสเตนเลสมาปาดหน้า จากนั้นทำการวัดระยะและทำการเลื่อยขนาดออก เข้าเครื่องกลึงปอกลดขนาดและรูปร่างตามที่ออกแบบ เจาะทะลุทั้งชิ้นงานเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm ทำการกลึงเตเปอร์เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm ลงไป 5 mm จนบรรจบกับรูเจาะเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm จากนั้นกลึงเกลียวนอกเตรียมสำหรับไว้ประกอบกับส่วนหัวฉีด และสุดม้ายกลึงแหวนรองเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 mm หนา 5 mm จากแท่งสเตนเลสที่เลื่อยก่อนหน้าเป็นลำดับต่อไปดังรูปที่ 3.10

รูปที่ 3.10 ชิ้นส่วนกระบอกบรรจุวัสดุผง

ชิ้นต่อมาเอาแท่งสเตนเลสมากลึงเป็นส่วนของหัวฉีด (Nozzle) และหัวกดฉีดวัสดุ (Punch) ในส่วนของหัวฉีด (Nozzle) มีการกลึงเกลียวในรับกับเกลียวนอกของกระบอกบรรจุวัสดุผงจากนั้นทำการเจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm ทะลุทั้งชิ้นงานที่หัวฉีดและกลึงเตเปอร์องศาให้รับกับองศาของแม่แบบ ส่วนหัวกด (Punch) นำแท่งสเตนเลสมากลึงปาดหน้าวัดระยะให้ได้ความสูงชิ้นงาน กลึงปอกลดขนาดและรูปร่างตามออกแบบ จากนั้นกลึงเกลียวในรับกับเกลียวนอกของส่วนก้านลูกสูบของกระบอกสูบ จากนั้นทำการลบคมเก็บชิ้นงานให้เรียบร้อยดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(1) (2)

รูปที่ 3.11 ชิ้นส่วนหัวฉีด (1) และหัวกดฉีดวัสดุ (2)

ชิ้นต่อมาในส่วนของฐานแครื่องแต่ละชั้นเราใช้เครื่อง CNC ทำชิ้นส่วนฐานให้ได้ขนาดตามออกแบบ เจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 mm และ 50 mm สำหรับสวมกระบอกบรรจุผง (Container) บนฐานชั้นที่ 2 และสำหรับสวมก้านสูบของกระบอกสูบลม (Cylinder) ตามลำดับ ต่อมาเจาะรูทั้ง 4 รูบนแผ่นฐานทุกชิ้นงานสำหรับใช้ใส่ชุดสกรูยึดเสากับฐานในแต่ละชั้น สุดท้ายทำการลบคมชิ้นงานให้เรียบร้อย จากนั้นส่วนของแม่แบบเราใช้เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า (EDM) ในการกัดเป็นรูปร่างชิ้นงานยาว 50 mm หนา 5 mm ตามที่ออกแบบพร้อมทั้งเจาะรูสำหรับส่วนของหมุดยึดในการยึดประกบแม่แบบบนและล่างให้ติดกันและปิดกันสนิทดังรูปที่ 3.12

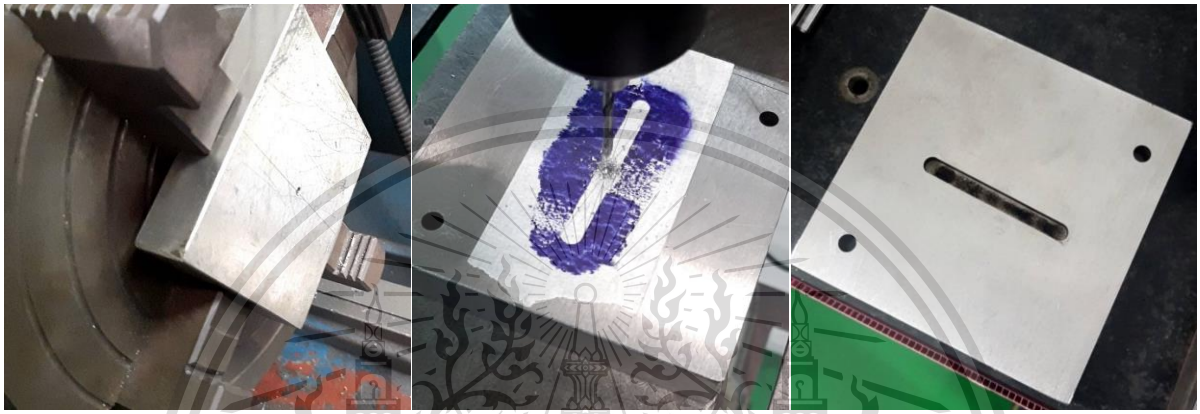
(1) (2)

รูปที่ 3.12 ชิ้นส่วนฐานในการใช้เครื่อง CNC (1) และ แม่แบบในการใช้เครื่อง EDM (2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อทำการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าเสร็จได้รูปร่างแม่แบบที่ต้องการแล้วนำไปเจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 mm ที่เครื่องเจาะเพื่อทำทางไหลของของผสมระหว่างผงวัสดุกับตัวประสานจากหัวฉีดลงชิ้นงานในแม่แบบจากนั้นนำขึ้นเครื่องกลึงเพื่อทำการเตเปอร์องศารับกับส่วนหัวฉีดเพื่อให้เวลากดหัวฉีดลงไปแล้วจะได้ประกบกันสนิทไม่เกิดการรั่วของของผสมออกมาบนแม่แบบดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ชิ้นส่วนแม่แบบที่กัดรูปร่างชิ้นงานแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

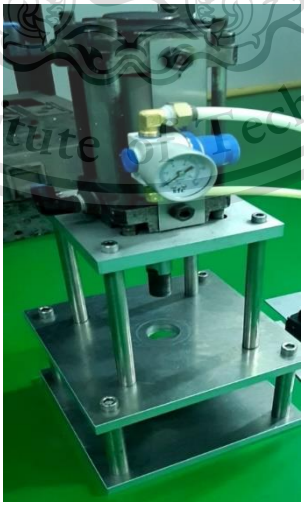
บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานหลังจากสร้างเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

1. การทดลองการทำงานของเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

4.1 การทดลองการทำงานของเครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

หลังจากที่ทำการประกอบชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเข้าด้วยกันพร้อมยึดโครงสร้างตามแบบดังรูปที่ 4.1 จากนั้นนำวงจรนิวเมติกส์ที่ต่อไว้แล้วมาทำการติดตั้งกับโครงสร้างเครื่อง ลองทดสอบจ่ายลมจากปั๊มลมเข้าวงจรนิวเมติกส์ปรับแรงดันลมให้เหมาะสมกับการฉีดและทดสอบอุปกรณ์ทุกตัวในวงจรว่าใช้งานได้เป็นปกติ จากนั้นทำการทดสอบการฉีดเพื่อตรวจสอบว่าหัวกดฉีด (Punch) วัสดุเคลื่อนที่ลงไปกดฉีดสารในกระบอกฉีด (Container) ลงตามตำแหน่งถูกต้อง ไม่เกิดการติดขัดระหว่างเคลื่อนที่ฉีดลงไปในกระบอกฉีดออกจนไปบรรจบกับบริเวณก่อนที่จะเตเปอร์ตรงของส่วนหัวฉีด (Nozzle) ได้พอดี ต่อมาทำการสวมชุดฮีตเตอร์ทำความร้อนกับกระบอกฉีดจากนั้นเติมวัสดุผงกับตัวประสานเข้าไปในกระบอกฉีดเพื่อให้ฮีตเตอร์ทำความร้อนเพื่อละลายเป็นของผสม ในขณะเดียวกันก็ทำการให้อุณหภูมิกับตัวแม่แบบด้วย เมื่อของผสมได้ที่ทำการกดหัวฉีดลงแม่แบบจากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการกำจัดตัวประสานละเผาผนึกและสุดท้ายนำชิ้นงานออกจากแม่แบบเพื่อนำไปใช้เป็นการศึกษาเรื่องคุณสมบัติต่อไป



รูปที่ 4.1 เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปของโครงงาน ปัญหาและอุปสรรค และ แนวทางการพัฒนาต่อของปริญญานิพนธ์เรื่อง เครื่องฉีดขึ้นรูปวัสดุผง ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

1. ผลสรุปของโครงงาน
2. ปัญหาและอุปสรรค
3. แนวทางการพัฒนาต่อ

5.1 ผลสรุปของโครงงาน

5.1.1. ส่วนของเครื่องฉีด

เครื่องสามารถให้แรงกดฉีดวัสดุผงสูงสุดอยู่ที่ 3518.58 N ส่วนรูปทรงของกระบอกบรรจุวัสดุผงสามารถบรรจุปริมาตรได้มากสุดที่ 27,960.17 mm^3

5.1.2. ส่วนของแม่แบบ

รูปทรงปริซึม พื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส 5×5 mm สูง 50 mm ปริมาตรชิ้นงานจากการฉีดขึ้นรูปคือ 1,250 mm^3

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

1. การระบาดของ COVID-19 ทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถเข้าทำการทดสอบชิ้นงานได้ ส่งผลให้ผู้วิจัยทำการทดสอบได้ไม่สมบูรณ์

2. เครื่องมือเครื่องจักรที่มีอยู่จำนวนจำกัดและความไม่ชำนาญทักษะในการใช้เครื่องมือเครื่องจักรของผู้วิจัยเอง ส่งผลให้การดำเนินงานใช้เวลานานกว่าที่ควรจะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

[1] สารัมภ์ บุญมี, “Powder Metallurgy,” [Online].
Available: http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/handle/123456789/2773
[Accessed: 15 กันยายน 2563].

[2] อัญชลี มโนนุกุล, การฉีดขึ้นรูปวัสดุผง, Design and Manufacturing, มกราคม-มีนาคม, 2548

[3] ภวันต์ เมืองแวง, การผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปสำหรับการฉีดขึ้นรูปชิ้นส่วนเครื่องมือแพทย์ Feedstock fabrication for metal injection moulding of medical,” [Online].
Available: http://medicaldevices.oie.go.th/Article.aspx?aid=2900.
[Accessed: 15 กันยายน 2563].

[4] เบญจวรรณ อินทร์ปัญญา, การฉีดขึ้นรูปผงอะลูมิเนียมผสมเสริมแรงด้วยอนุภาคซิลิคอนคาร์ไบด์. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2555.

[5] ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ และไชยวัฒน์ รักสกุลพิวัฒน์, การเปรียบเทียบพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2544.

[6] ฐาปนีย์ พัชรวิชญ์, พฤติกรรมที่อุณภูมิห้อง-สูงของวัสดุประกอบพื้นอะลูมิเนียมเสริมแรงด้วยผงซิลิคอนคาร์ไบด์ผลิตด้วยวิธีฉีดขึ้นรูปวัสดุผงและเผาผนึก. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2560.

[7] วสวัชร นาคเขียว, “Metal Forming and Powder Metallurgy,” [Online].
Available: http://personel.eng.cmu.ac.th/ /~wasawat/Powder_PM%20All.pdf
[Accessed: 5 พฤษภาคม 2564].

[8] มนัส ศรีสวัสดิ์, การศึกษาสมบัติของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนกับอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ใช้เหลือจากกระบวนการหล่อฉีด. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี, 2553.

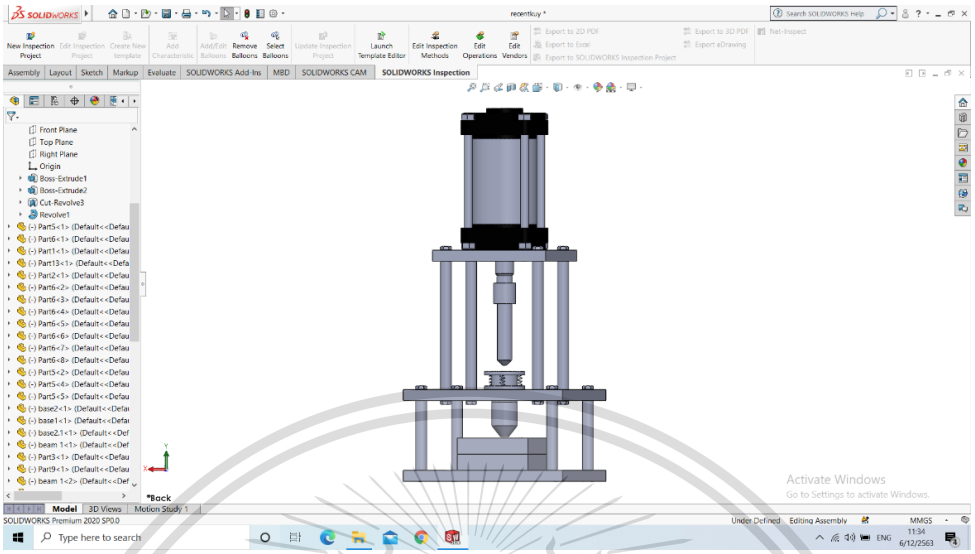
[9] Prashant B. Kakadiya et al., “Design And Automation of Plastic Injection Molding Machine,” [Online]. Available: http://mechanical.srpec.org.in/
[Accessed: 16 June 2564].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

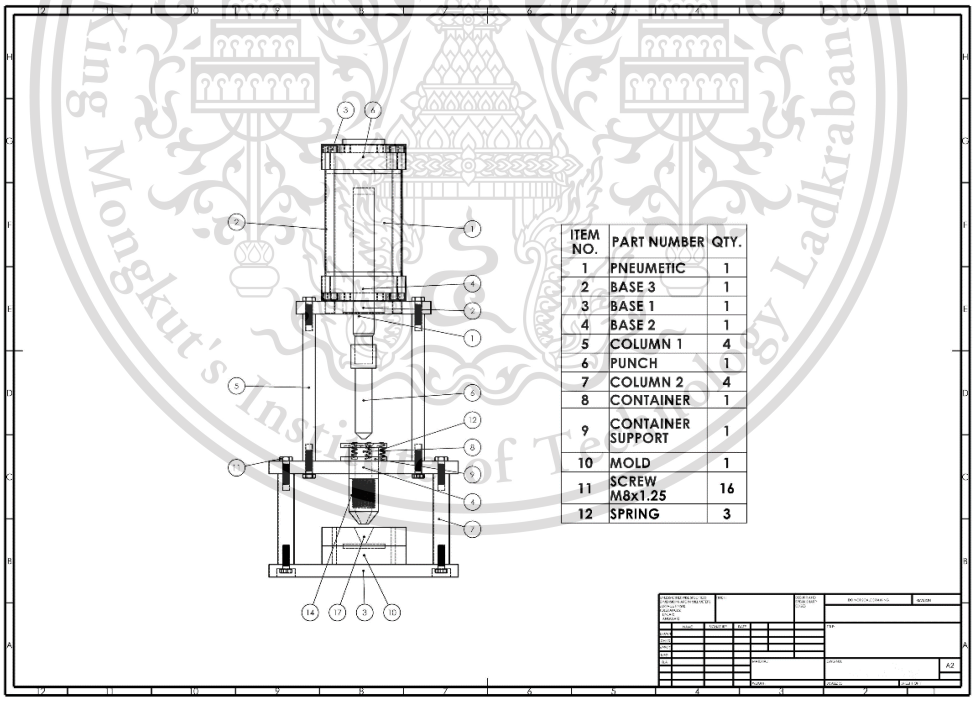
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ผ1 Assembly Part

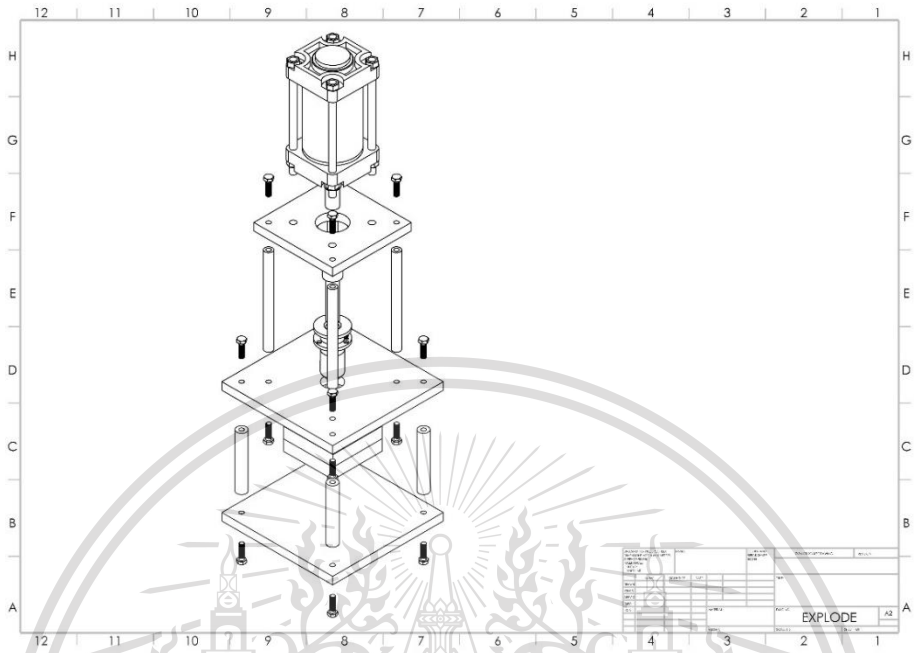


ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	PNEUMETIC	1
2	BASE 3	1
3	BASE 1	1
4	BASE 2	1
5	COLUMN 1	4
6	PUNCH	1
7	COLUMN 2	4
8	CONTAINER	1
9	CONTAINER SUPPORT	1
10	MOLD	1
11	SCREW M8x1.25	16
12	SPRING	3

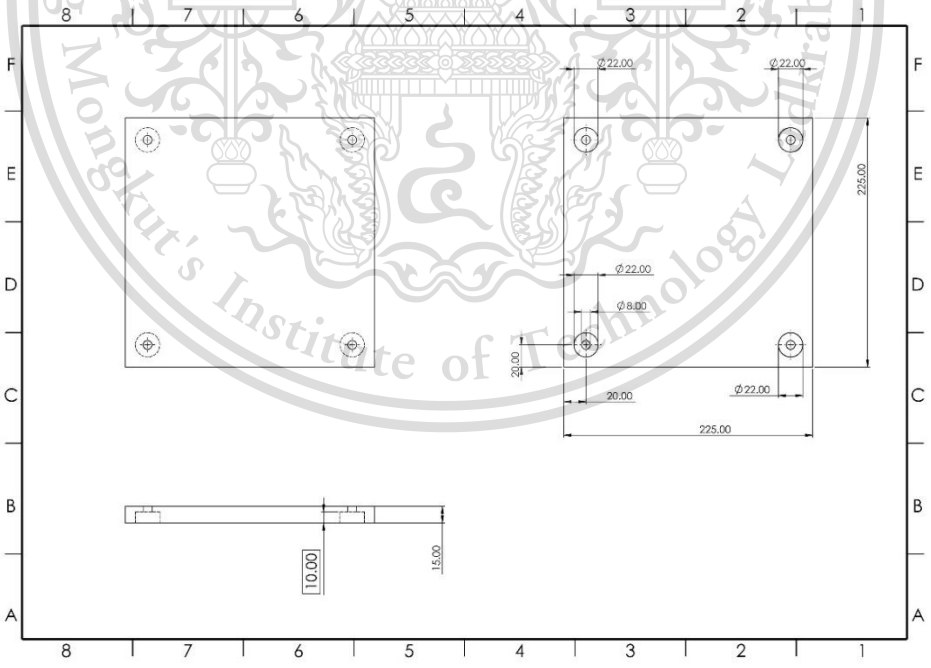
รูปที่ ผ2 Assembly Part on Drawing Sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



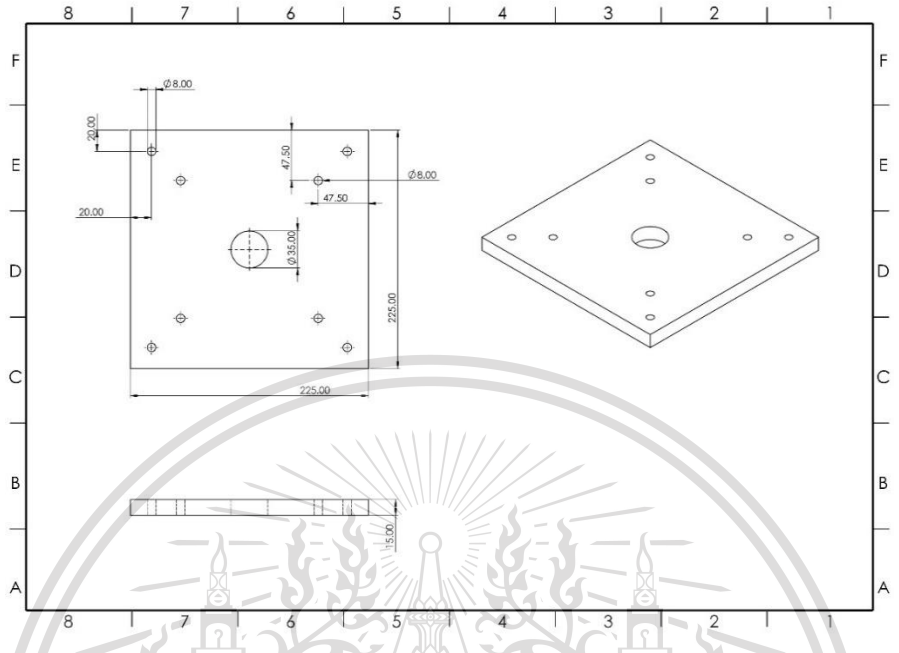
รูปที่ ผ3 Exploded View of Assembly Part



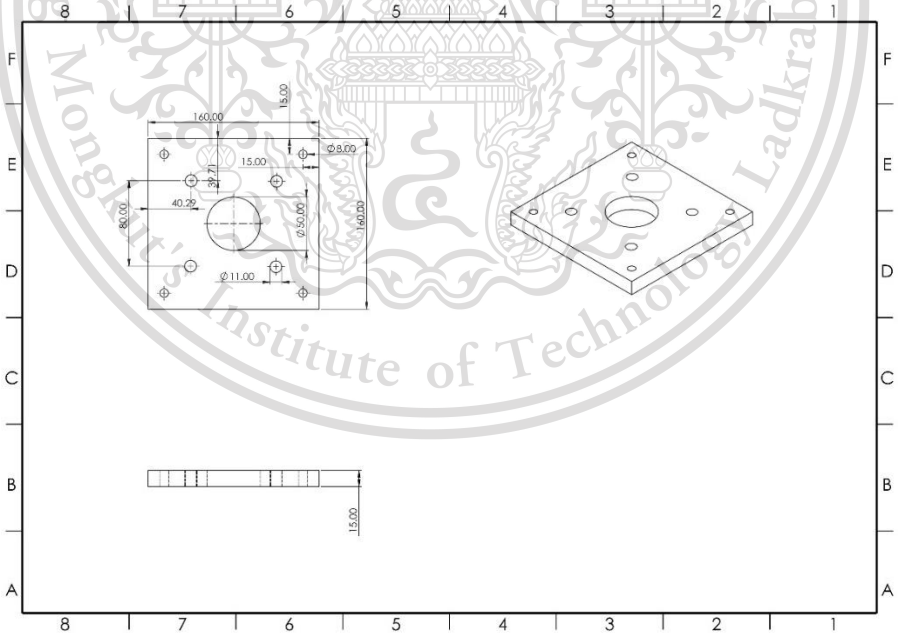
รูปที่ ผ4 Top – Front – Side View of First Floor Base

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



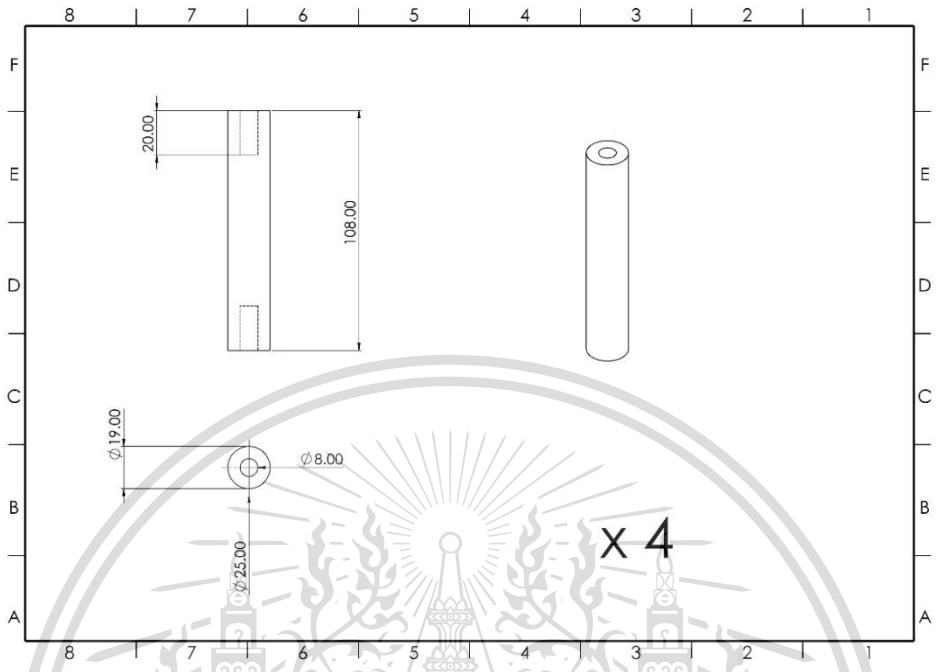
รูปที่ ผ5 Top – Front – Side View of Second Floor Base



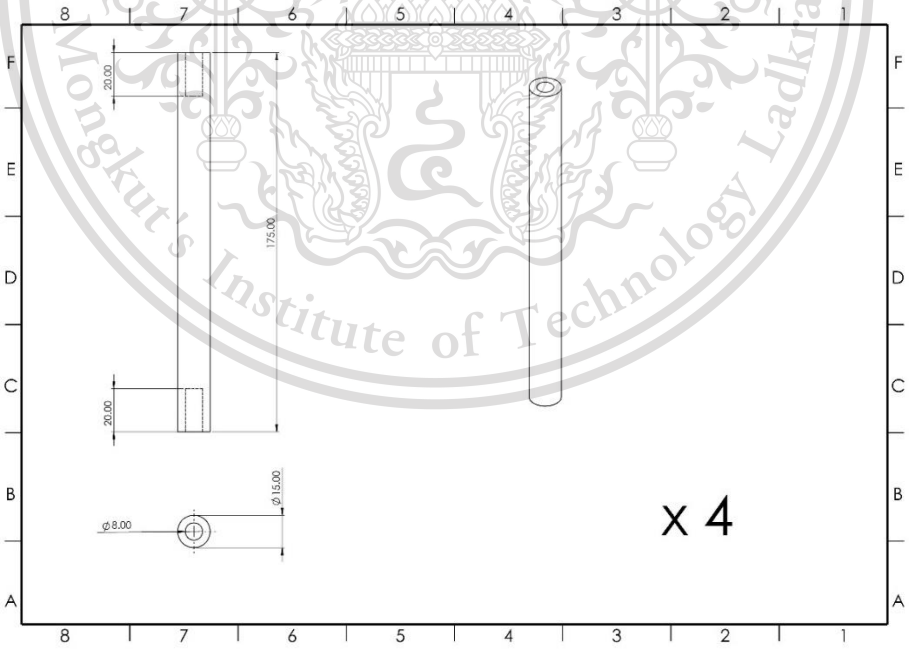
รูปที่ ผ6 Top – Front – Side View of Third Floor Base

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

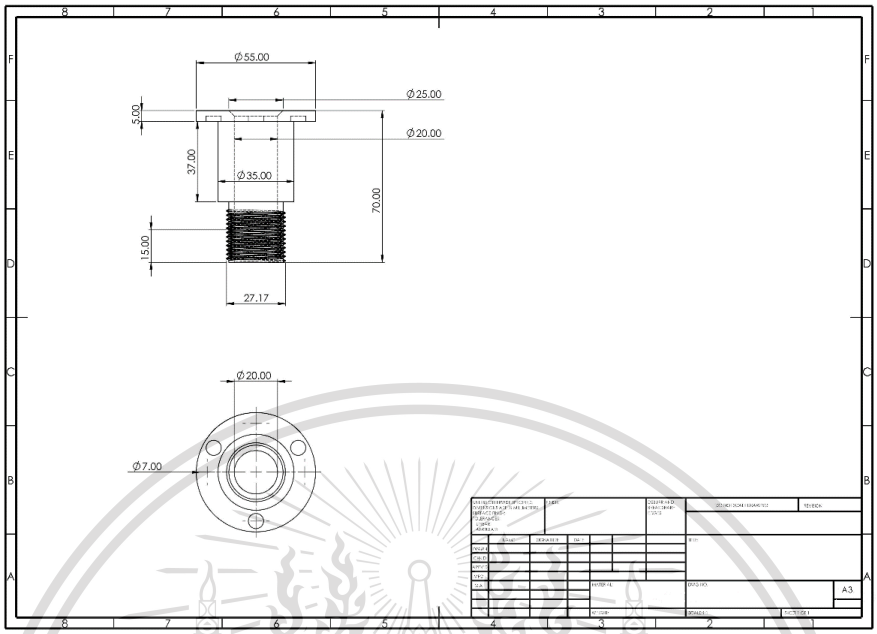


รูปที่ ผ7 Top – Front – Side View of First Floor Column

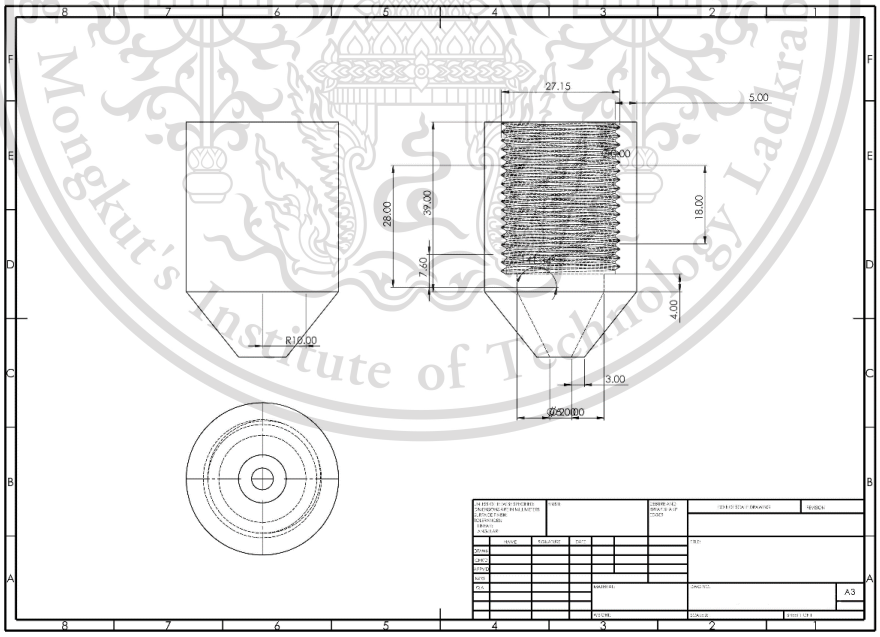


รูปที่ ผ8 Top – Front – Side View of Second Floor Column

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

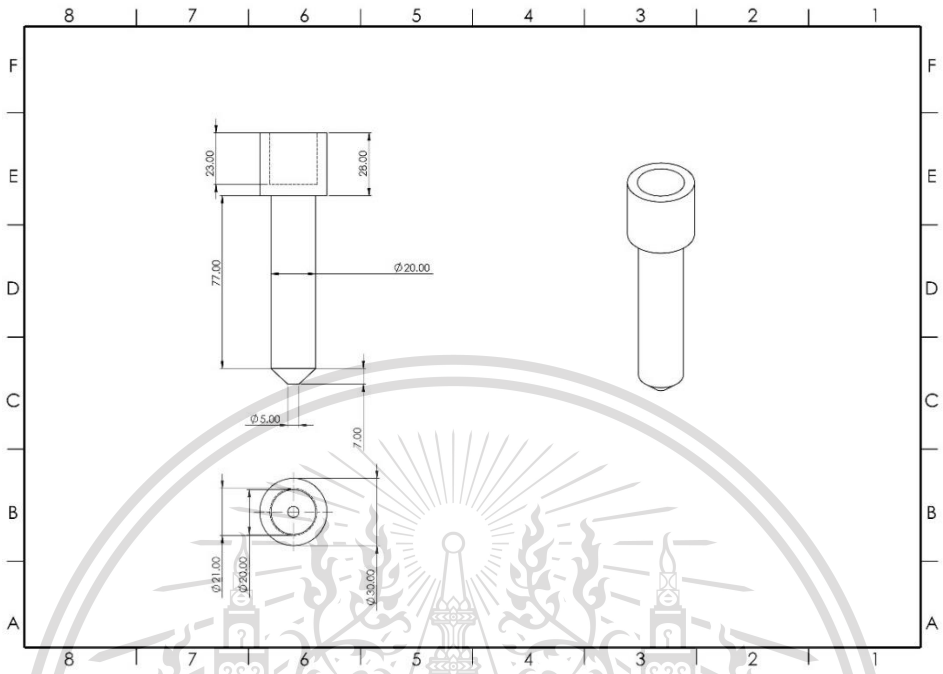


รูปที่ ผ9 Top – Front – Side View of Container

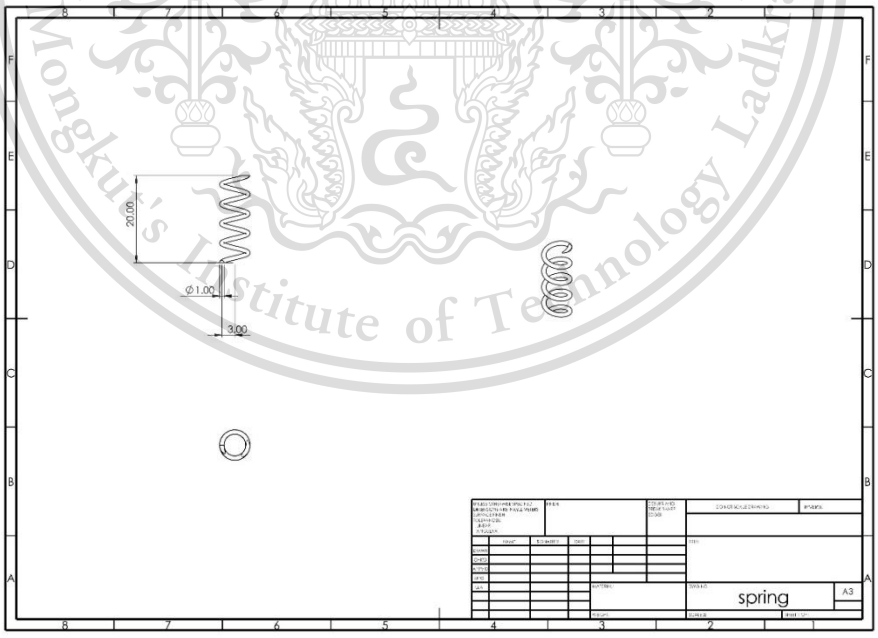


รูปที่ ผ10 Top – Front – Side View of Nozzle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

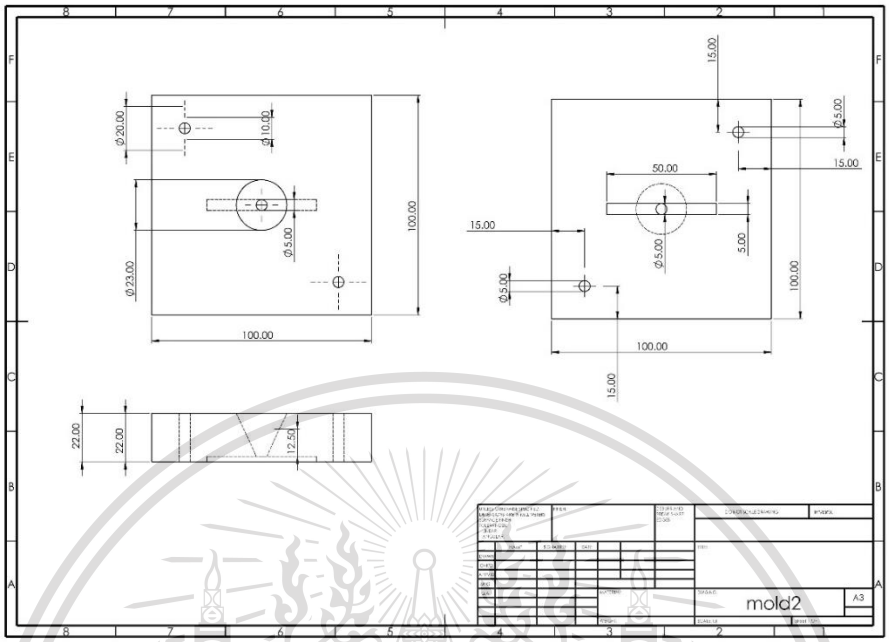


รูปที่ ผ11 Top – Front – Side View of First Floor Punch

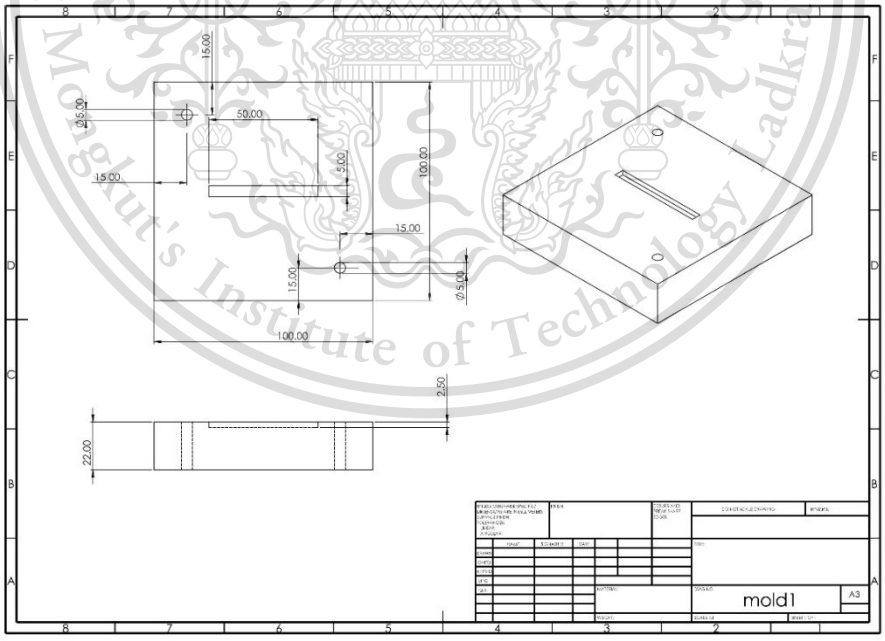


รูปที่ ผ12 Top – Front – Side View of Spring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ ผ13 Top – Front – Side View of Top Mold



รูปที่ ผ14 Top – Front – Side View of Bottom Mold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.