การใช้พอลิเมอร์เสริมแรงในการทำแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปแบบหมุน

USING REINFORCED POLYMER IN ROTATIONAL MOLD MAKING

กรกฤษ เชื้อชัยนาท

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การใช้พอลิเมอร์เสริมแรงในการทำแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปแบบหมุน

กรกฤษ เชื้อชัยนาท

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้พอลิเมอร์เสริมแรงในการทำแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปแบบหมุน Using Reinforced Polymer in Rotational Mold Making
ชื่อ – นามสกุล	นายกรกฤษ เชื้อชัยนาท
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.
ปีการศึกษา	2565

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ฉัตรชัย วีระนิติสกุล ..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัตรชัย วีระนิติสกุล, Ph.D.)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์อภิรัตน์ เลาห์บุตรี, Ph.D.)

สุมนมาลย์ เนียมหลาง ..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์สุมนมาลย์ เนียมหลาง, Ph.D.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภวสุปรีย์, Ph.D.)
วันที่ 16 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2566

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้พอลิเมอร์เสริมแรงในการทำแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปแบบหมุน
ชื่อ – นามสกุล	นายกรกฤษ เชื้อชัยนาท
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุและโลหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณรงค์ชัย โอเจริญ, Ph.D.
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ 1) ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติการนำความร้อนของพอลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester Resin; UPR) ด้วยการเติมผงเขม่าดำ (Carbon Black; CB) ที่อัตราส่วน 0, 10, 20 และ 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก และ 2) เปรียบเทียบด้วยผงโลหะ 2 ชนิด ได้แก่ ผงอลูมิเนียมและผงเหล็ก ในอัตราส่วนร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เพื่อการหล่อขึ้นรูปเป็นแม่พิมพ์อย่างง่ายสำหรับใช้ในการขึ้นรูปพลาสติก

ลักษณะสัณฐานวิทยาของผงเขม่าดำและผงโลหะได้รับการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope; OM) ความแข็งและการทนต่อแรงดัดของชิ้นงานรวมไปถึงสมบัติการนำความร้อนได้รับการทดสอบเช่นเดียวกัน

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเติมผงเขม่าดำส่งผลให้ความแข็งของชิ้นงานลดลงและการทนต่อแรงดัดลดลง แต่โมดูลัสการดัดเพิ่มสูงตามปริมาณเขม่าดำที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของผงเขม่าดำซึ่งตรวจสอบได้จากภาพถ่ายสัณฐานวิทยา ส่วนการเติมผงโลหะทั้งอลูมิเนียมและผงเหล็กให้ความแข็งเพิ่มขึ้น ชิ้นงานที่มีการเติมผงเขม่าดำที่ 10, 20 และ 30 ร้อยละโดยน้ำหนัก มีค่าการนำความร้อนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่เติมผงเขม่าดำ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผงเขม่าดำค่าการนำความร้อนกลับมีค่าลดลงเป็น 0.14, 0.13 และ 0.11 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการเติมผงโลหะพบว่าค่าการนำความร้อนเมื่อเติมผงอลูมิเนียมและผงเหล็กมีค่าเป็น 0.68 และ 0.21 วัตต์ต่อเมตร.เคลวิน ตามลำดับ ดังนั้นจึงไม่สามารถนำพอลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัวที่เติมเติมผงเขม่าดำ ไปใช้ในการหล่อเป็นแม่พิมพ์อย่างง่ายเพื่อใช้ขึ้นรูปพลาสติกได้เพราะค่าการนำความร้อนยังไม่มากพอเมื่อเทียบกับโลหะสำหรับผลิตแม่พิมพ์

คำสำคัญ : การนำความร้อน พอลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัว ผงเขม่าดำ ผงโลหะ

Thesis Title	Using Reinforced Polymer in Rotational Mold Making
Name-Surname	Mr. Kronrakit Chuachainat
Program	Materials Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Narongchai O-Charoen, Ph.D.
Academic Year	2022

ABSTRACT

The purposes of this research were to: 1) study the improvement of the thermal conductivity property of the composite prepared from unsaturated polyester resin (UPR) and carbon black (CB) powders at the weight percentages of 0, 10, 20, and 30 percent and 2) compare the thermal conductivity property of the CB added composite with the composite mixed with 2 types of metal powders including aluminum and ferro powders at the weight percentage of 50 percent for casting a simple plastic mold.

The morphology of the CB added composite and the metal powders mixed composites were examined using an optical microscope (OM). The hardness and the flexural properties were examined as well as thermal conductivity property.

The study results showed that the adding of CB powders decreased the hardness and the bending strength of the composites. However, its bending modulus raised when the CB powders was increased. The uneven distribution of the CB powders could be observed in the morphological photographs. On the other hand, the addition of aluminum and ferro powders increased the hardness of the composites. Regarding thermal conductivity, it was found that the composite with CB powders at the weight percentages of 0, 10, 20, and 30 percent provided higher thermal conductivity compared to the normal UPR. Nevertheless, the increasing amount of CB powders caused the thermal conductivity to be decreased to 0.14, 0.13, and 0.11 W/(m. K), respectively. In the examination of the metal powders mixed composites, it was found that the thermal conductivity of aluminum and ferro powders mixed composites increased to 0.68 and 0.21 W/(m. K), respectively. In conclusion, the CB added composites could not be used for casting a simple plastic mold due to the thermal conductivity was insufficient comparing to the metal powders mixed composites.

Keywords: thermal conductivity, unsaturated polyester resin, carbon black powders, metal powders

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์ของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ชัย โอเจริญ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการศึกษาวิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย วีระนิติสกุล ประธานกรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมนมาลย์ เนียมหลาง ที่ได้ให้ความกรุณาในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของงานวิจัย รวมทั้งเสียสละเวลาในการเป็นกรรมการสอบครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ และคณะอาจารย์ ที่ให้การสนับสนุนและประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานค้นคว้าฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจ หากวิทยานิพนธ์นี้ขากตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

กรกฤษ เชื้อชัยนาท

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... (3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... (4)
กิตติกรรมประกาศ ..... (5)
สารบัญ ..... (6)
สารบัญตาราง ..... (8)
สารบัญรูป ..... (9)
บทที่ 1 บทนำ 12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 12
1.2 วัตถุประสงค์ 12
1.3 ขอบเขต 12
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 13
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13
2.1 พลาสติก (plastics) 13
2.2 พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว 19
2.3 วัสดุผงที่ให้ปรับปรุงคุณสมบัติการนำความร้อน 21
2.4 การนำความร้อนของวัสดุ 28
2.5 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบหมุน 32
2.6 สมบัติของอนุภาคผงพลาสติก 41
2.7 การทดสอบทางกลบางประการ 43
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 50
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 53
3.1 แผนการดำเนินงาน 53
3.2 วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมี 54
3.3 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย 59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานและอัตราส่วนผสม 60
3.5 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน 63
3.6 วิธีการทดสอบ 65
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 69
4.1 การทดสอบการดูดซึมน้ำ 69
4.2 การทดสอบความแข็ง 71
4.3 ขนาดและความกลมของอนุภาควัสดุผง 73
4.4 การทดสอบการนำความร้อน 75
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 78
5.1 สรุปผลที่ได้รับจากการทำโครงการ 78
5.2 ข้อเสนอแนะ 78
บรรณานุกรม 79
ภาคผนวก 80
ภาคผนวก ก ตารางการทดสอบ 80
ภาคผนวก ข รูปภาพชิ้นงานทดสอบ 85
ประวัติผู้วิจัย 89

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต 19
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติการนำความร้อนของโลหะต่างๆ.....30
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติการนำความร้อนของโลหะต่างๆ (ต่อ).....31
ตารางที่ 2.3 จุดหลอมเหลวของวัสดุในหน่วยเคลวิน 31
ตารางที่ 2.3 จุดหลอมเหลวของวัสดุในหน่วยเคลวิน (ต่อ).....32
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....53
ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย (ต่อ).....53
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของของ UPR ในการทดสอบ 60
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของ UPR กับ Carbon black Powder.....61
ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนผสมของ UPR กับ Aluminum, UPR กับ Ferro Powder.....64
ตารางที่ 4.1 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานทดสอบ (Carbon black Power).....69
ตารางที่ 4.2 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานทดสอบ(Al,Fl).....70
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบความแข็งของ UPR กับ Carbon black ในอัตราส่วนต่างๆ....71
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบความแข็งของ UPR กับ ผงโลหะทั้ง 2 ประเภท ในอัตราส่วน...72
ตารางที่ 4.5 แสดงผลขนาดและความกลมของอนุภาควัสดุผง.....73
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าการนำความร้อน 75
ตารางที่ 4.7เปรียบเทียบแสดงค่าการนำความร้อน ของ UPR เติมผงคาร์บอนแบล็คลงไปในUPR.77

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การแสดงประเภทของพลาสติก 13
รูปที่ 2.2 พอลิเอทิลีน 14
รูปที่ 2.3 โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง 14
รูปที่ 2.4 โพลีไวนิล คลอไรด์ 15
รูปที่ 2.5 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ 15
รูปที่ 2.6 โพลีโพพีลีน 16
รูปที่ 2.7 โพลีสไตรีน 16
รูปที่ 2.8 พลาสติกอื่นๆ 17
รูปที่ 2.9 ภาชนะที่ทำจาก เมลามีน 18
รูปที่ 2.10ภาชนะที่ทำจาก ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ 18
รูปที่ 2.11 ผงคาร์บอนแบล็ค 21
รูปที่ 2.12 เครื่องขึ้นรูปชนิด แบทช์ไทพ 32
รูปที่ 2.13 เครื่องขึ้นรูปชนิด ฟิกซ์อาร์ม (Fixed-arm) 33
รูปที่ 2.14 เครื่องขึ้นรูปชนิด อินดิเพนเดินทอาร์ม (Independent arm) 34
รูปที่ 2.15 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน 35
รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการขึ้นรูปขั้นตอนที่ 1 และ ขั้นตอนที่ 2 35
รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการขึ้นรูปขั้นตอนที่ 3 และ ขั้นตอนที่ 4 35
รูปที่ 2.18 A hot air recirculating oven method 37
รูปที่ 2.19 A hot oil jacketed mould method 38
รูปที่ 2.20 Straight arm 39
รูปที่ 2.21 Offset arm 39
รูปที่ 2.22 แม่พิมพ์แบบอะลูมิเนียมหล่อ 40
รูปที่ 2.23 แม่พิมพ์นิกเกิลแบบขึ้นรูปด้วยไฟฟ้า 40
รูปที่ 2.24 แม่พิมพ์แบบโลหะแผ่น 41
รูปที่ 2.25 ลักษณะรูปร่างเปรียบเทียบกับค่าความกลม 42
รูปที่ 2.26 ลักษณะอนุภาค ซ้ายอนุภาคที่มีหาง (Tail) และขวาอนุภาคที่ไม่มีหาง 43
รูปที่ 2.27 กล้องจุลทรรศน์ แบบใช้แสง (Light microscope) 43

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.28 การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Test)..... 45
รูปที่ 2.29 ขั้นตอนการการถ่ายเทความร้อน..... 46
รูปที่ 2.30 เครื่องทดสอบค่าการนำความร้อน รุ่นHot Disk TPS 2500s..... 50
ภาพที่ 3.1 UPR Resin 456/60 (ชนิดที่ 1) 54
รูปที่ 3.2 UPR Resin 901 ตัวที่ 2 มีค่าทนความร้อนได้ถึง 80-110 องศา (ชนิดที่ 2) 55
รูปที่ 3.3 BUTANOX -60(ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี)..... 55
รูปที่ 3.4 โคบอลต์(ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี) 55
รูปที่ 3.5 ภาชนะใช้สำหรับผสม..... 56
รูปที่ 3.6 ภาชนะใช้สำหรับผสม..... 56
รูปที่ 3.7 แผ่นอะคริลิคใสใช้สำหรับทำแบบในการเทหล่อชิ้นงาน..... 56
รูปที่ 3.8 แว๊กซ์ถอดแบบ (Mold Release)..... 57
รูปที่ 3.9 ตาชั่ง 2 กิโลกรัม..... 57
รูปที่ 3.10 ผงอลูมิเนียม (Aluminum Powder) 58
รูปที่ 3.11 ผงเหล็ก (Ferro Powder)..... 58
รูปที่ 3.12 คาร์บอนแบล็ค 58
รูปที่ 3.13 การชั่งน้ำหนักเรซิ่น..... 63
รูปที่ 3.14 ทำการทาน้ำยาลอกแบบ..... 64
รูปที่ 3.15 ชั่งผงอลูมิเนียม.....64
รูปที่ 3.16 ทำการผสมและคนให้เข้ากัน.....64
รูปที่ 3.17 การชั่งน้ำหนักเรซิ่น.....65
รูปที่ 3.18 เทเรซิ่นผสมแล้วลงแม่พิมพ์ 65
รูปที่ 3.19 เครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเลล์ 66
รูปที่ 3.18 กล้องจุลทรรศน์แบบดิจิตอล (DigitalMicroscope) รุ่น S04-600X 65
รูปที่ 3.18 เครื่องทดสอบค่าการนำความร้อน รุ่น Hot Disk TPS 2500s 65
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุผสม 69
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าการดูดซึมผสม(Al,Fe).....70
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ของ UPR/CB 71
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ของ UPR/Al,Fl.....73

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผล Size and circularity average..... 73
รูปที่ 4.6 ผงอลูมิเนียม (Aluminium) ผ่านกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100X..... 74
รูปที่ 4.7 ผงคาร์บอนแบล็ค (Carbon black Powder)ผ่านกล้องจลุทรรศน์ กำลังขยาย100X 73
รูปที่ 4.8 ผงเหล็ก (Aluminium) ผ่านกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 50X..... 74
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าการทดสอบค่าการนำความร้อนของ วัสดุผสม..... 76
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าการทดสอบค่าการนำความร้อนของ วัสดุผสม..... 77

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากปัจจุบันนี้การขึ้นรูปพลาสติกนั้นต้องอาศัยแม่พิมพ์ที่ทำจากโลหะ เพราะสามารถนำความร้อนได้ดี ทำให้พลาสติกขึ้นรูปเป็นชิ้นงานขึ้นมาได้ จึงมีแนวคิดที่ว่าถ้าแม่พิมพ์ที่ไม่ได้ทำจากโลหะจะนำความร้อนได้เทียบเท่าแม่พิมพ์โลหะได้หรือไม่ แม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปพลาสติกนั้นทำจากเหล็ก ลักษณะตามที่ต้องการใช้งานมีหลากหลายชนิด กระบวนการผลิตแม่พิมพ์นั้นมีหลายขั้นตอน มีราคาสูง มีน้ำหนักมาก เกิดปัญหาในการขนส่ง และปัญหาในการเปลี่ยนแม่พิมพ์ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดว่าแม่พิมพ์พลาสติกจะทำจากวัสดุอย่างอื่นได้หรือไม่ เพื่อประหยัดต้นทุนการผลิต และความสะดวกในการขนย้าย รวมทั้งการเปลี่ยนแม่พิมพ์ โดยผู้วิจัยได้นำผงคาร์บอนแบล็คผสมกับเรซิ่นและผงโลหะที่เพิ่มคุณสมบัติการนำความร้อนเพื่อนำไปขึ้นรูปเป็นแม่พิมพ์พลาสติก โดยเรซิ่นที่ใช้เป็นโพลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester Resin)

วัสดุเทอร์โมเซตติงนั้นมีหลายชนิด แต่คุณสมบัติของแต่ละชนิดจะใกล้เคียงกันในบางคุณสมบัติ คือทนต่อการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดรอยคราบและรอยเปื้อนได้ดี เย็นลงจะแข็งมาก ทนความร้อนและความดัน ไม่อ่อนตัว และเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ แต่ถ้าหากอุณหภูมิสูงจะแตกและไหม้เป็นขี้เถ้าสีดำ โดยทั่วไปแล้ววัสดุชนิดนี้จะนำความร้อนต่ำถึงไม่นำความร้อนเลย การที่จะนำมาทำเป็นแม่พิมพ์นั้น เมื่อนำไปใช้งานแล้วพลาสติกในแม่พิมพ์จะไม่หลอม เนื่องจากการนำความร้อนได้ดีจะทำให้พลาสติกหลอม แล้วถ้าหากยิ่งเพิ่มความร้อนจากภายนอกแม่พิมพ์สูงเกินไป จะทำให้แม่พิมพ์ที่ทำจากเทอร์โมเซตติงสลายตัวได้ เมื่อได้ลองพิจารณาดูแล้วว่าควรจะใส่วัสดุชนิดอื่นลงไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการนำความร้อนของแม่พิมพ์ โดยการนำวัสดุที่ให้ปรับปรุงคุณสมบัติการนำความร้อนทั้ง 3 ชนิดที่มีค่านำความร้อนที่ดี และหาได้ง่ายทั่วไปในงานอุตสาหกรรมใส่ลงไปเพื่อการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้น แต่จะใช้เพียงผงอลูมิเนียม ผงเหล็ก และผงคาร์บอนแบล็คเท่านั้น ทำให้ผงทั้ง 3 ชนิดนั้นกระจายตัวอย่างทั่วถึงในกระบวนการขึ้นรูปแม่พิมพ์เทอร์โมเซตติง เพราะโดยทั่วไปผงอลูมิเนียมจะคงทนต่อการการหัก ความร้อน การกัดกร่อน และนำความร้อนได้ดี โดยผงเหล็กเป็นวัตถุดิบพื้นฐานมีการนำความร้อนอยู่ในคุณสมบัติของเหล็กได้ดี และผงคาร์บอนแบล็คถ้าใส่ลงไปขณะที่เรซิ่นยังไม่แข็งตัวก็จะทำให้ไม่ตกตะกอน ดังนั้นจึงมีวิธีการทำให้ผงทั้ง 3 ชนิดกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่ตกตะกอนก่อนที่เรซิ่นจะแข็งตัว

ถ้าหากการที่ใส่ผงทั้ง 3 ชนิดแล้วทำให้กระจายตัวในเรซิ่น แล้วนำไปทดสอบการนำความร้อนเป็นไปได้ดีด้วย เราจะสามารถทำแม่พิมพ์อย่างง่ายได้โดยไม่ต้องใช้โลหะทั้งชิ้นมาขึ้นรูปเป็นแม่พิมพ์ ทำ

ให้ประหยัดต้นทุนลงไปได้ ถึงแม้การนำความร้อนจะไม่เทียบเท่ากับแม่พิมพ์โลหะ แต่เราสามารถขึ้นรูปแม่พิมพ์อย่างง่ายได้ด้วยตัวเอง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์การวิจัยดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาการนำความร้อนของวัสดุ UPR ที่ปรับปรุงการนำความร้อนโดยใส่ผงอลูมิเนียม (Aluminum Powder) ผงคาร์บอนแบล็ค (Carbon black Powder) และผงเหล็ก (Ferro Powder)

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลและกายภาพบางประการของวัสดุผสม

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีขอบเขตการวิจัยดังนี้

1.3.1 ใช้โพลิเอสเตอร์ไม่อิ่มตัว 2 ชนิดเป็นส่วนประกอบหลัก ว่าแต่ละชนิดแตกต่างกันอย่างไร โดยแหล่งที่มาจากประเทศไต้หวันนำเข้าโดย บริษัท เอ็มเคโพลีเอสเตอร์เรซิ่น จำกัด

1.3.2 ใช้ผงอลูมิเนียม ผงเหล็ก และผงคาร์บอนแบล็ค เป็นวัสดุปรับปรุงคุณสมบัติ โดยใช้ผงอลูมิเนียม เบอร์ 325 ผงเหล็ก เบอร์ G-25 และผงคาร์บอนแบล็ค เบอร์ N 330 เป็นวัสดุปรับปรุงคุณสมบัติ

1.3.3 ศึกษาสัดส่วนของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงการนำความร้อนของวัตถุ ใช้ ผงคาร์บอนแบล็คในปริมาณ 10% 20% 30% ตามลำดับ และผงอลูมิเนียมในปริมาณ 50% และผงเหล็ก 50% ตามปริมาณน้ำหนัก

1.3.4 ศึกษาสมบัติวัสดุผสมเฉพาะสูตร และวิธีการขึ้นรูป ในการทดสอบใช้การขึ้นรูปแบบเทหล่อชิ้นงาน

1.3.5 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ปรับปรุงการนำความร้อนด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) ใช้ในการศึกษาขนาดของอนุภาคผง และขนาดความกลมของอนุภาคของผงที่ใช้ปรับปรุงการนำความร้อน ที่กำลังขยาย 100X สำหรับผงคาร์บอนแบล็คกับผงอลูมิเนียม ส่วนผงเหล็กใช้กำลังขยายที่ 50X

1.3.6 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมที่ดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM D570

1.3.7 ทดสอบทางกลบางประการ การวัดความแข็งพื้นผิว แบบร็อคเวลล์โดยใช้หัวกดเบอร์ ¼ น้ำหนักการกด 60 กก. จำนวน 10 จุด ตามมาตรฐาน ASTM D 785

1.3.8 เพื่อศึกษาคุณสมบัติการนำความร้อนของวัสดุผสม ใช้การทดสอบแบบ Hot Disk TCA

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การวิจัยครั้งนี้มีประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับดังนี้

1.4.1 ได้วัสดุผสมที่สามารถขึ้นรูปได้ง่าย และมีคุณสมบัติการนำความร้อนที่ดี

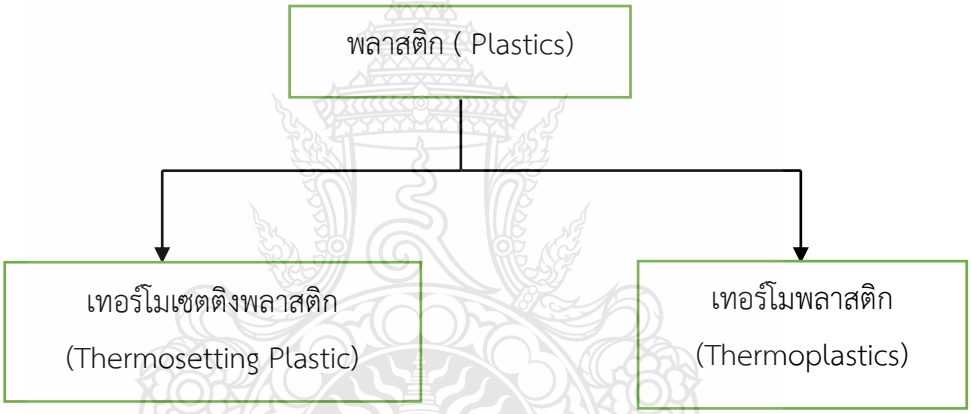
1.4.2 เป็นวัสดุทางเลือกให้กับอุตสาหกรรมพลาสติกขึ้นรูป

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลาสติก (plastics)

พลาสติก (plastics) คือ พลาสติกเป็นวัสดุวิศวกรรมและเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากของเหลวงกลายเป็นของแข็งเพื่อใช้ทดแทนกับวัสดุอื่นในงานอุตสหากรรมและในชีวิตประจำวัน และเป็นวัสดุที่มีราคาค่อยข้างถูกและน้ำหนักเบา

พลาสติกแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ เทอร์โมพลาสติก (thermoplastics) และเทอร์โมเซตติ้งพลาสติก (thermosetting plastics)



รูปที่ 2.1 การแสดงประเภทของพลาสติก

2.1.1 เทอร์โมพลาสติก (thermoplastics) เป็นพลาสติกที่ผ่านกระบวนการรับความร้อนละขั้นที่ทำให้อยู่ในภาวะเหลวหลอมและเปลี่ยนรูปร่างจากเดิม และเทอร์โมพลาสติกสามารถทำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลายรอบโดยผ่านกระบวนการหลอมเหลวและไม่สามารถทำลายโครงสร้างของเดิมได้เพราะเป็นพลาสติกที่ทนต่อการยืดติดและทนแรงดึงได้สูง ตัวอย่างของพลาสติกในชีวิตประจำวัน เช่น ถุงใส่ของ ขวดน้ำ จาน ช้อน ส้อม ขนแปรงสีฟัน สายยาง เชือก กระเป๋า รองเท้า ไม้บรรทัด กล่องใส่ซีดี ถังขยะ ของเล่นเด็ก กล่อง บรรจุภัณฑ์วัสดุตกแต่งบ้าน ข้อสำคัญของพลาสติกชนิดนี้คือถ้าผ่านกระบวนการทางความร้อนและเกิดการหลอมเหลวขึ้นสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เสมอจะเรียกว่า เทอร์โมพลาสติก

2.1.1.1 พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) เป็นวัสดุที่ทนความร้อนได้ดีและมีความทนทานในการใช้การและมีการป้องกันการซึมผ่านของน้ำและไอน้ำหรือความร้อนที่ส่งผ่านของพลาสติกที่ขึ้นรูป และมีลักษณะการขึ้นรูปเป็นสีขุ่น และเป็นพลาสติกที่นำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมและมีความนิยมมาก เช่น ถัง ถุง ขวด เป็นต้น

รูปที่ 2.2 พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE)

2.1.1.2 โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) คือบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่มีตวามเหนียวและทนทานกว่า พลาสติกอื่นสีขาว และสีอื่นที่เป็นสีทึบ (ขวดนมสีขุ่น) ยกตัวอย่างเช่น ขวดนม ขวดแชมพู ขวดน้ำยาปรับผ้านุ่ม ผลิตภัณฑ์ซักผ้า กระปุกยา เป็นต้น สามารถสังเกตสัญลักษณ์ เบอร์ 2 และ HDPE/HD-PE

รูปที่ 2.3 โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE)

2.1.1.3 โพลีไวนิล คลอไรด์ (PVC) หรือที่เราเรียกกันว่า พีวีซีเป็นพลาสติกชนิดคลอรีนเป็นวัสดุที่มีความแข็งหรือเป็นยาง นอกจากท่อพีวีซีที่ใช้เป็นอุปกรณ์ในการก่อสร้างแล้ว จำพวกของเล่น

เด็ก ผ้าม่านห้องน้ำ แฟ้มใส่เอกสาร บัตร หลอดพลาสติกแบบแข็ง ก็ผลิตจาเป็นองค์ประกอบหลักพีวีซี ทั้งสามารถตกค้างและเป็นมลพิษต่อสุขภาพเราและสิ่งแวดล้อมได้ เป็นพลาสติกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ส่วนสัญลักษณ์ของ พีวีซี คือเบอร์ 3 หรือ PVC/V

รูปที่ 2.4 โพลีไวนิล คลอไรด์ (PVC)

2.1.1.4 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ หรือ LDPE พลาสติกเบอร์ 4 เป็นฟิล์มพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นได้ เช่น ถุงพลาสติกมีหูหิ้ว หลอดพลาสติก พลาสติกแรปห่ออาหาร

รูปที่ 2.5 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ

2.1.1.5 โพลีโพพีลีน (PP) คือพลาสติกแข็ง นิยมใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหาร เช่น ถ้วยโยเกิร์ต ถ้วยบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแบบแข็ง สัญลักษณ์ของพลาสติกชนิดนี้คือ เบอร์ 5 หรือ PP

รูปที่ 2.6 โพลีโพพีลีน (PP)

2.1.1.6 โพลีสไตรีน (PS) เป็นพลาสติกที่มีลักษณะแข็ง มีความมันวาว เปราะแตกง่าย ตัวอย่างเช่น ช้อนส้อมพลาสติก ภาชนะโฟม ฝาแก้วกาแฟ

รูปที่ 2.7 โพลีสไตรีน (PS)

2.1.1.7 พลาสติกอื่นๆ มีสัญลักษณ์เบอร์ 7 หรือมีคำว่า OTHER กำกับไว้ เป็นโดยเป็นวัสดุที่เป็นพลาสติกชนิดที่มีความแข็งและทนทานต่อการใช้งานและพลาสติกชนิดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้โดยที่โครงสร้างของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงตัวอย่างเช่น ที่ใส่อาหาร ขวดน้ำดื่มทั่วไป

รูปที่ 2.8 OTHER

2.1.2 เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting plastic) เป็นสมบัติพลาสติกที่ทนต่อการทำปฏิกิริยาของสารเคมีได้ดี และอุณหภูมิที่การเปลี่ยนแปลงได้สูง จะก่อให้เกิดรอยปนเปื้อนและคราบยาก เมื่อผ่านความร้อนก่อให้เกิดการคงรูปได้ครั้งเดียวเท่านั้น ถ้าหากอุณภูมิลดลงวัสดุจะมีการเซ็ตตัว ทนความดันและความร้อน มีแรงติดระหว่างโมเลกุลจะแข็งแรงมากเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้เนื่องจากไม่เกิดการละลาย แต่ถ้าอุณหภูมิสูงวัสดุจะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างเป็นผงสีดำ พลาสติกชนิดนี้จะเกิดการจับเชื่อมโยงกันแบบร่างแหภายในโมเลกุล จึงไม่สามารถทำการหลอมละลายได้อีกครั้ง หมายถึงสายโซ่เกิดการเชื่อมขวางกันไปมาของโมเลกุลของพอลิเมอร์ (cross linking among polymer chains) ด้วยเหตุนี้หลังจากพลาสติกเกิดการเย็นและแข็งตัว ไม่สามารถใช้ความร้อนเพิ่มทำให้เกิดการอ่อนตัวได้อีก เว้นเสียแต่การให้อุณหภูมิสูงถึงระดับการสลายตัว การทำพลาสติกรูปแบบนี้ให้เป็นรูปลักษณะต่างๆต้องใช้ความร้อนสูงโดยมากจะต้องการแรงอัดด้วย เทอร์โมเซตติงพลาสติกมี 6 ชนิดได้แก่

2.1.2.1 เมลามีน ฟอร์มาลดีไฮด์ (melamine formaldehyde) มีสมบัติทางเคมีคือ ทนแรงดันได้ 7,000 - 135,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงอัดได้ 25,000 - 50,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทนแรงกระแทกได้ 0.25 - 0.35 ทนทานต่อทนปฏิกิริยาเคมีได้ดีและอุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ทนความร้อนได้ถึง 140 องศาเซลเซียส เป็นพลาสติหรือวัสดุที่จะเกิดคราบและสิ่งสกปรกได้ง่ายและสามารถซึมเข้าเนื้อวัสดุพลาสติกได้และเมลามีนสามารถใช้งานในด้านของการเป็นภาชนะหรือบรรจุอาหารได้หลายชนิดและส่วนมากนิยมให้มีลวดลายสวยงาม แต่ไม่มีสารพิษให้กับร่างกายและไม่ให้ปฏิกิริยากับวัสดุหรือพลาสติกในชนิดนี้

รูปที่ 2.9 ภาชนะที่ทำจาก เมลามีน

2.1.2.2 ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ (phenol-formaldehyde) เป็นพลาสติกที่มีความสามารถทนต่อการละลายของสารละลายได้ดีและทนต่อสารละลายเกลือและน้ำมัน แต่พลาสติกที่ไม่ทนต่อแอลกอฮอล์เพราะจะทำให้พลาสติกเป็นรูปร่าง เช่น ฝาจุก ขวดและหม้อ

รูปที่ 2.10 ภาชนะที่ทำจาก ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ (phenol-formaldehyde)

2.1.2.3 อีพ็อกซี (epoxy) เป็นวัสดุที่ใช้สำหรับในการเคลือบผิวของอุปกรณ์ต่างที่จะใช้ชีวิตประจำวันและในอุปกรณ์ภายในครัวเรือนและใช้ในงานอุตสหากรรมด้วยท่อส่งน้ำมันและก๊าซและสามรถใช้ในงานขึ้นรูปหรืองานประเภทงานหล่ออุปกรณ์ชิ้นงานและเคลือบผิวของวัสดุชิ้นงานต่าง ใช้เคลือบผิวพื้นโรงงานและผนังต่างในงานอุตสหากรรม เคลือบผิวถนนเพื่อป้องกันการลื่นของรถยนต์ได้ดีและใช้เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของวัสดุโลหะในการเคลือบลงไปในโลหะบนพื้นผิว

2.1.2.4 พอลิเอสเตอร์ (polyester) กลุ่มของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เอสเทอร์ (-O•CO-) เป็นวัสดุหรือพลาสติกที่ทนต่อการใช้งานในด้านต่างๆและสามารถในทนแทนกับวัสดุได้หลายประเภทและเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำมาใช้งานได้หลายด้านในงานภาคอุตสหกรรม เช่น พลาสติก ขวดน้ำ ฟิล์ม พลาสติกเส้นใย

2.1.2.5 ยูรีเทน (urethane) ชื่อทั่วไปของเอทิลคาร์บาเมต มีสูตรทางเคมี NH2COOC2H5

2.1.2.6 พอลิยูรีเทน (polyurethane) พอลิเมอร์ประกอบด้วยหมู่ยูรีเทน (–NH•CO•O-) เตรียมด้วยปฏิกิริยาระหว่างไดไอโซยาเนต (di-isocyanates) กับ ไดออล (diols) หรือไทรออล (triols) ที่เหมาะสม นิยมใช้เป็นกาว และน้ำมันชักเงา พลาสติกและยาง ชื่อย่อคือ PU

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซต

เทอร์โมพลาสติก	เทอร์โมเซตติงพลาสติก
1.เป็นพอลิเมอร์แบบเส้นหรือแบบกิ่ง	1.เป็นพอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือแบบร่างแห
2.จะอ่อนหรือหลอมเหลวถ้าหากได้รับความร้อน	2.จะแข็งตัวถ้าหากได้รับความร้อน
3.ต้องทำให้เย็นตัวก่อนนำออกจากแม่พิมพ์เพราะจะเสียรูปทรงได้	3.ไม่ต้องรอให้เย็นตัวก่อนเอาออกจากแม่พิมพ์ก็ได้
4.ไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในแม่พิมพ์	4.เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชันในแม่พิมพ์
5.นำมารีไซเคิลโดยการหลอม และขึ้นรูปแบบใหม่ได้	5.ไม่สามารถนำมารีไซเคิลใหม่ได้

2.2 พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว

พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester resin) หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า ยูพีอาร์เรซิน (UPR resin) เป็นเรซินที่อยู่ในสภาพของเหลว มีสีเหลืองอ่อน ซึ่งจะเห็นได้ที่เกิดการผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาแล้ว จะได้วัสดุพลาสติกที่มีความแข็ง ไม่สามารถแปรสภาพเป็นพลาสติกเหลวหรือคืนรูปได้ เรียกพลาสติกนี้ว่า เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting) โดยสามารถใช้งานในอุณหภูมิสูงและทนได้ดี พอลิเอสเทอร์เรซิ่นชนิดไม่อิ่มตัวเป็นสารประกอบชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวนอยู่ระหว่าง 1,800 ถึง 2,500 ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาเป็นพอลิเมอร์ (Polymer) โดยใช้ปฏิกิริยาควบแน่นเป็นเอสเทอร์ (Ester) ของสารประกอบ 2 ชนิดได้แก่ ไกลคอล (Glycol) ไกลคอลที่นิยมใช้ ได้แก่ เอทิลีนไกล (Ethylene glycol) โพรพิลีนไกลคอล (Propylene glycol) สารประกอบอีกชนิดคือ กรดไดเบสิก (Dibasic acid) ซึ่งกรดไดเบสิกโดยทั่วไปที่ใช้เป็นสารผสมของกรดอินทรีย์ที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว จะนิยมใช้มาก คือ มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) และกรดฟูมาริก (Fumaric acid) สาเหตุหลักๆที่นิยมใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เนื่องจากจะเกิดความว่องไวต่อปฏิกิริยาได้ดีและให้น้ำออกมาน้อย ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่น (Esterification) พอลิเอสเทอร์เรซิ่นชนิดไม่อิ่มตัว

จะละลายในตัวทำละลายที่ไม่อิ่มตัว เช่น สไตรีมอนอเมอร์ (Styrene monomer) ในสภาพของเหลว และทำให้แข็งตัวด้วยความร้อนหรือเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

การสังเคราะห์พอลิเอสเทอร์เรซิ่นชนิดไม่อิ่มตัว ทำได้โดยนำวัตถุดิบเป็นกรด เช่น มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (Maleic anhydride) หรือกรดฟธาลิกแอนไฮไดรด์ (Phthalic anhydride) ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นของแข็งและไกลคอลเป็นของเหลว โดยเติมวัตถุดิบทั้งสองชนิดลงในถังปฏิกรณ์ (reactor) ที่อุณหภูมิประมาณ 200-220 องศาเซลเซียส ถ้าต้องการให้ได้สีของเรซินที่ดี ควรให้ปฏิกิริยาที่อยู่ในถังปฏิกรณ์ต่อเข้ากับไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ นอกจากนี้แล้วยังนิยมใส่ไซลีน (Xylene) เพื่อช่วยขจัดน้ำออกโดยการกลั่น และเริ่มใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น กรดพารา-โทลูอีนซัลโฟนิก (p-toluensulphonic acid) เพื่อลดเวลาในการทำปฏิกิริยาเคมีลงมา และเติมก๊าซเฉื่อยเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้นกว่าเดิม ในขณะที่ปฏิกิริยาดำเนินไป จะต้องวัดขนาดของพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้น เมื่อได้ขนาดตามต้องการก็จะหยุดปฏิกิริยาและลดอุณหภูมิลง จะได้พอลิเอสเทอร์ที่มีลักษณะแข็งหรือลักษณะเซ็ตตัว ซึ่งถูกเทลงในภาชนะสำหรับผสม (blenbing tank) ที่มี สไตรีน (Styrene) บรรจุอยู่ และมีไฮโดรควิโนน (Hydroquinone) เป็นตัวยับยั้ง (lnhiditor) ขณะที่ละลายพอลิเอสเทอร์ด้วยสไตรีนจะต้องไม่ให้อุณหภูมิในถังเกิน 60 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันพอลิเอสเทอร์เรซิ่นแข็งตัวก่อนที่จะไปนำขึ้นรูป การขึ้นรูปนั้นจะต้องทำในขั้นตอนเดียวกับการเชื่อมโยง ทำได้ด้วยการอบหรือบ่มให้ร้อนขึ้น (Curing) ประมาณ 100 องศาเซลเซียส ในขั้นที่ขึ้นรูปโดยการเติมตัวริเริ่มลงไปในเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide)

การทำให้พอลิเอสเทอร์เรซิ่นชนิดไม่อิ่มตัวแข็ง นิยมใช้ตัวริเริ่มและตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิห้อง ตัวริเริ่มที่นิยมใช้คือ เมทิลเอทิลคีโตนเปอร์ออกไซด์ (Methyl ethyl keton peroxide peroxide) และเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้คือ โคบอลต์ออกโทรเอต (Cobalt octoate) และไดเมทิลอะนิลีน (Dimethyl aniline) ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดในขณะที่พอลิเอสเทอร์เรซิ่นแข็งตัวคือ ปฏิกิริยาคอยกระตุ้นและเร่งให้เกิดปฏิกิริยา

สมบัติของพอลิเอสเทอร์เรซิ่นชนิดไม่อิ่มตัวที่ผ่านการเชื่อมโยงแล้ว มีสมบัติที่มีความใส แข็ง ไม่หลอมเหลว และไม่เกิดการละลายในตัวทำละลายใดๆ โดยทั่วไปแล้วนั้นจะทนความร้อนได้ดี จนกระทั่งถึงที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส พอลิเอสเทอร์เรซิ่นชนิดไม่อิ่มตัวนิยมนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นเอฟอาร์พี กลาส (Fiber glass) ซึ่งทนความร้อนได้ถึง 150 องศาเซลเซียส ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี สมบัติทางด้านเคมี จะมีความต้านทานตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี ยกเว้นพวกคลอรีเนตดไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated hydrocarbon) เช่น คลอโรฟอร์ม (Chloroform) เอทิลีนไดคลอไรด์ (Ethyl acetate) และ คีโตน เช่น อะซิโตน (Acetone) เมทิลเอทิลคีโตน (Methyl ethyl ketone) สารเหล่านี้อาจจะเกิดการกัดกร่อนได้

แต่ความต้านทานกรดอินทรีย์ดีมาก ยกเว้นกรดที่เป็นออกซิไดส์ที่แรงๆเท่านั้น รูปแบบการใช้งานพอลิเอสเทอร์เรซิ่นเทอร์เรซิ่นชนิดไม่อิ่มตัวแบ่งเป็น 4 ชนิด

2.2.1 การหล่อ (casting) ผลิตภัณฑ์ที่เป้นวัสดุและพลาสติกหล่อชนิดต่างๆ ได้แก่ การหล่อกระจกเทียม หล่อพระ หล่อหินอ่อนเทียม หล่ออุปกรณ์ไฟฟ้า ทำกระดุม เป็นต้น

2.2.2 การลามิเนต (laminating) หรือการเคลือบ (coating) นิยมใช้ทำผลิตภัณฑ์เคลือบรูปวิทยาศาสตร์ การเคลือบหน้าไม้อัด เคลือบถัง เป็นต้น

2.2.3 การขึ้นรูปด้วยแบบต่างๆ (molding) เช่นการทำถังขนาดใหญ่ ชิ้นส่วนของเครื่องบิน ตัวถังรถยนต์ ชั้นวางสินค้า เรือ อ่างอาบน้ำ เป็นต้น

2.2.4 การพัน (winding) เช่น การทำท่อ ท่อทนแรงอัด

พลาสติกพวกเทอร์โมเซตติ้งมีข้อดีในเรื่องขั้นตอนในการขึ้นรูป ซึ่งสามารถขึ้นรูปได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง และมีความแข็ง แต่จะมีจุดด้อยคือมีความเปราะ ทนแรงกระแทกได้ต่ำ จึงนิยมนำพลาสติกจำพวกเทอร์โมเซตติ้งมาผสมกับเส้นใย เช่น เส้นใยแก้ว คาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber) เพื่อเกิดการเสริมแรงในวัสดุ ทำให้วัสดุเกิดความแข็งแรงทนทานต่อแรงกระแทก

2.3 วัสดุผงที่ให้ปรับปรุงคุณสมบัติการนำความร้อน

2.3.1 ผงคาร์บอนแบล็ค หรือผงเขม่าดำ (Carbon black Powder)

รูปที่ 2.11 ผงคาร์บอนแบล็ค

Carbon Black (Amorphous Carbon/C)	
Atomic Number	6
Molecular Weight (g/mol.)	12.0111

Apparent Density (g/cm^3)	2.26
Compacted Density (g/l)	120-500
Melting Point (℃)	3727
Boiling Point (℃)	4830
Surface Area (m^2/g)	90 – 460
Thermal Conductivity (cal/s-cm-℃)	0.057/ 23.9 (W/mK)
Mohs Hardness @20℃	2 – 2.9
pH	3 – 10
Particle Shape	spherical, irregular, flake, shot , needle
Specific Heat @ 25 deg. C	0.165 cal/g
Crystallography	Hexagonal
Carbon Black CAS Number	CAS#7782-42-5
Carbon Black UN Number	1325

ผงคาร์บอนแบล็ค โดยทั่วไปแล้วจะมีลักษณะสีดำ เป็นขนาดผงลักษณะขนาดที่เล็ก มีน้ำหนักเบา และมีการลอยตัวอยู่ในอากาศและเป็นวัสดุที่ไม่มีกลิ่น และมีคุณสมบัติไม่ละลายในน้ำ เป็นสารที่ไม่คืนรูปสูง แต่อาจลุกติดไฟได้ง่าย ลักษณะและสมบัติเฉพาะของคาร์บอนแบล็ค เป็นคาร์บอนที่อยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์โดยจะผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนโดยการเผาที่ไม่สมบูรณ์ในขั้นตอนการผลิต หรือเกิดจากการแยกส่วนประกอบด้วยความร้อนของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นก๊าซ เป็นภาวะของเหลวและสามรถอยู่ในภาวะของการควบคุมและลักษณะทางกายภาพของวัสดุนั้นจะมีสีดำเข้ม ลักษณะเป็นผงที่มีขนาดละเอียด โดยนิยมกันนำมาใช้ในในงานอุตสาหกรรมต่างๆ และมีประโยชน์ในหลายด้าน คาร์บอนแบล็คจะอยู่ในรูปของ amorphous carbon จะมีสัดส่วนของพื้นที่ต่อปริมาตรสูง คาร์บอนแบล็คจัดเป็นสารอันตรายชนิดหนึ่งตามฐานข้อมูลของ Hazardous Substances Data Base [HSDB,2002] เนื่องจากมีคาร์บอนที่ขนาดเล็กมากซึ่งมาจากกระบวนการออกซิเดชันบางส่วน หรือมาจากกระบวนการให้ความร้อนที่เป็นการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ การแยกส่วนประกอบด้วยความร้อนของก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันปิโตรเลียม คาร์บอนแบล็คประกอบด้วย channel black, impingement black, furnace black และ thermal black โดยจากชนิดของคาร์บอนแบล็คทั้งหมดนั้น thermal black เป็นอนุภาคขนาดค่อนข้างหยาบมากที่สุดในขณะที่ channel black มีขนาดของอนุภาคเล็กที่สุด โดยขนาดของอนุภาคคาร์บอนแบล็คโดยเฉลี่ยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-400 นาโนเมตร

คาร์บอนแบล็คจะแตกต่างไปจากเขม่าที่เรียกว่า black carbon โดยเขม่ามักหมายถึงคาร์บอนต่างๆที่เราไม่ต้องการ ซึ่งเป็นกระบวนการและขั้นตอนการทำงานของการเผาไหม้ที่ไม่สมบรูณ์แบบของวัสดุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น น้ำมัน แก๊สโซลีน ถ่านหิน กระดาษ พลาสติก หรือขยะ ซึ่งเขม่าเหล่านี้จะมีปริมาณของสารไดคลอโรมีเทนและโทลูอีนจำนวนมาก และอยู่ในเถ้าถ่านมากกว่าร้อยละ 50 ลักษณะทางกายภาพเคมีของคาร์บอนแบล็คที่แตกต่างไปจากเขม่าคือ คาร์บอนแบล็คส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 97 จะประกอบด้วยคาร์บอนที่เรียงตัวในลักษณะของ Aciniform หรือฝุ่นที่มีโครงสร้างรวมกันเหมือนองุ่น (grape-like cluster particulate) ในขณะที่เขม่าจะมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าร้อยละ 60 ซึ่งคาร์บอนที่มีจะแตกต่างกันไปตามที่มีและลักษณะสมบัติของคาร์บอน

อุตสาหกรรมยางคาร์บอนแบล็คได้มีการนำไปใช้งานกันมากในอุตสาหกรรมยางโดยจะถูกเติมไปในยางเพื่อให้เป็นวัสดุ filler และเป็นสารเพิ่มความแข็งแรงให้กับยาง คาร์บอนแบล็คได้นำไปใช้ในชิ้นส่วนต่างๆของยางได้แก่ ขอบยางภายในตัวรถยนต์และโครงสร้างภายในของยางรถยนต์ และยังสามารถนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต่างได้ในภาคอุตสาหกรรมยาง เช่น ที่ฉีดน้ำแรงดันสูง ชิ้นส่วนกันกระแทก สายพานลำเรียงชิ้นงาน เป็นต้น

อุตสาหกรรมงานพิมพ์หรือหมึกในงานด้านสิ่งพิมพ์และการเคลือบคาร์บอนแบล็ค ได้ถูกนำมาใช้กันมากยิ่งขึ้นในการทำเป็นผงสี pigment ของหมึกพิมพ์และหมึกเคลือบ โดยเมื่อได้เทียบสัดส่วนของการใช้งานแล้วนั้น จะเป็นรองเฉพาะการนำคาร์บอนแบล็คไปใช้ในอุตสาหกรรมยางเท่านั้น คาร์บอนแบล็คที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมนี้จะต้องเป็นชนิดออกซิไดซ์ด้วยกรด หรือชนิด acid oxidized carbon black โดยกรดจะถูกนำมาพ่นอุณหภูมิสูงด้วยกระบวนการผลิตคาร์บอนแบล็ค ซึ่งจะทำให้คาร์บอนแบล็คที่ได้นั้นมีลักษณะพื้นผิวที่ต่างออกไปโดยจะมีจำนวนของพันธะออกซิเจนบนพื้นผิวของคาร์บอนแบล็คเพิ่มขึ้น เหมาะสมกับการที่จะนำคาร์บอนแบล็คไปใช้งานในการทำเป็นหมึกสี และหมึกเคลือบมากกว่าชนิดอื่นๆ

สมบัติต่างๆของแกรฟีนอันได้แก่ สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติการสั่น สมบัติทนความร้อนได้ดี สมบัติเชิงกลและสมบัติทางแสงได้ดี โดยพบว่าแกรฟีนสามารถนำไฟฟ้าได้อย่างดี นำความร้อนได้ดีมาก มีความแข็งแรงที่สุด และมีความโปร่งแสงมากถึง 97-98 เปอร์เซ็นต์ จากคุณสมบัติที่สำคัญและที่ดีเหล่านี้ของแกรฟีน จึงส่งผลให้นักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยต่างนิยมให้ความสนใจในที่จะนำแกรฟีนมาพัฒนาเป็นวัสดุชนิดใหม่ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทต่างๆ เช่น จอภาพและแผงเซลล์สุริยะที่โค้งงอได้ ทรานซิสเตอร์เซ็นเซอร์ แอคชูเอเตอร์ แบตเตอรี่ ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ วัสดุคอมโพสิต และระบบนำส่งยา

2.3.2 ผงอลูมิเนียม (Aluminum)

ผงอลูมิเนียมมีคุณสมบัติที่โลหะที่มีคุณสมบัติที่ดีและมีความหนาแน่นน้อยและที่สำคัญมีน้ำหนักเบาและสามารถรับน้ำหนักของวัสดุได้สูงสามารถมีลักษณะพิเศษคือการขึ้นรูปได้ง่ายของการขึ้นรูปโลหะไม่ทำให้เกิดรอยร้าวหรือแตกหักอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่ไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อนต่างและไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ แล้วทำให้มีคุณสมบัติต่างๆเพิ่มมากยิ่งขึ้น เช่นกระบวนการขึ้นรูปหรือจุดหลอมเหลวของวัสดุผสมชนิดนี้ 1140-1205 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่แล้วจะนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆรวมไปถึงวัสดุหรือภาชนะที่เกี่ยวข้องกับอาหาร นอกจากนั้นแล้วยังมีคุณสมบัติทางเคมีของอลูมิเนียมในลักษณะต่างๆ

2.3.2.1 คุณสมบัติทางเคมีของอลูมิเนียม

1) เมื่อเกิดปฏิกิริยาของออกซิเจนและจะทำให้เกิดฟิล์มบนอลูมิเนียนออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนผิวของโหละนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกราอื่นบนผิวโหละได้

2) การทำปฏิกิริยากับไนโตรเจนนั้นจะทำให้เกิดไนไตรด์ที่อุณหภูมิสูง

3) ไม่ทำปฏิกิริยากับกำมะถัน

4) เมื่อทำปฏิกิริยาริยากับไฮโดรเจน ไฮโดรเจนจะเกิดการแทรกซึมเข้าสู่ชั้นในของอลูมิเนียม ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออก

5) สามารถทนต่อกรดและสารเคมีอื่นๆได้ดี

6) ทนต่อปฏิกิริยาของด่างได้เล็กน้อย สามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นด่างเข้มข้น

7) เกิดปฏิกิริยากับเกลือได้ ทำให้เกิดการกัดกร่อน

8) มีค่าการนำความร้อนที่ดี

ด้วยคุณสมบัติต่างๆที่กล่าวมา จึงให้วัสดุชนิดนี้มีความนิยมและมีการนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆในการผลิตอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างเป็นต้น โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมซึ่งเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา และสามรถลดต้นทุนในการผลิตและขึ้นรูปได้ดี

2.3.2.2 ชนิดของอลูมิเนียม สามารถแบ่งได้เป็น 5 ชนิด ซึ่งแยกตามสีได้ดังนี้

1) อลูมิเนียมสีขาว เป็นวัสดุสีทางธรรมชาติจึงมีราคาค่อยถูก

2) อลูมิเนียมสีชาหรือสีทอง เป็นวัสดุที่หายากและมีราคาค่อยสูงอยู่ในปัจจุบันเป็นลำดับที่ 2

3) อลูมิเนียมสีน้ำตาลหรือสีทองดำ เป็นสีที่แพงขึ้นเป็นลำดับที่ 3

4) อลูมิเนียมสีดำ เป็นสีที่แพงขึ้นเป็นลำดับที่ 4

5) อลูมิเนียมจะมีหลายหลายสี ราคาแพงที่สุด ซึ่งจะมีราคาแพงกว่าสีดำมากถึง 50%

2.3.2.3 ข้อดีและข้อเด่นของอลูมิเนียม สำหรับข้อดีของอลูมิเนียมที่นิยม คือ มีน้ำเบาและมีความหนาแน่นของโครงสร้างที่ต่ำ ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ มีความต้านทานการยึดติดได้สูง การกัดกร่อนได้ดี สามารถต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปได้ดี จึงส่งผลให้วัสดุดังกล่าวมีความสำคัญและมีคามนิยมสูงในภาคอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก ในด้านทางการขายของอลูมิเนียนนั้นสำคัญในการส่งออกและในการการด้านทหารมีการผลิตอุปกรณ์ที่ใช่ที่มีน้ำหนักมากเพียง 1 ใน 3 ของเหล็กที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ต่าง จึงทำให้เหมาะสมมากในการขึ้นรูปหรือผลิตชิ้นส่วนต่างให้มีน้ำหนักที่เบาเคลือนย้ายได้ง่าย ทำให้ยกหรือย้ายตำแหน่งได้ง่าย ทั้งเหมาะกับการทำเป็นวัสดุโลหะ หากด้วยต้องการคุณสมบัติที่มีน้ำหนักเบามาก จึงทำให้อลูมิเนียมนั้นจะถูกนำมาใช้งานในหลายๆชนิดในอุตสาหกรรม

2.3.2.4 การนำไฟฟ้าของอลูมิเนียม เป็นวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้ดีและมีราคาค่อยถูกแต่ว่าเป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าไม่เท่ากับทองแดง ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าแทนทองแดงได้บางกรีณเท่านั้น ในด้านการติดไฟอลูมิเนียมไม่สามาถติดไฟหรือเผาไหม้ได้ ไม่สามาถก่อให้เป็นเชื้อเพลิงได้

2.3.2.5 ด้านความคงทนแข็งแรงของอลูมิเนียม อลูมิเนียมเป็นโลหะเป็นวัสดุที่ทนต่อภวาะที่ทนต่อการกัดกร่อนได้และมีทนทานสูง เหมาะสำหรับนำมาใช้งานในหลายๆด้าน ซึ่งคุณสมบัติพิเศษ คือ ไม่มีปัญหาเรื่องของปลวกไม่เปลี่ยนรูปเมื่อโดนน้ำ ทนต่อภาวะอากาศที่เปลี่ยนแปลงได้ดีและไม่เกิดสนิมเหมือนวัสดุอื่น ถึงแม้เป็นวัสดุที่มีความนิยมมากและมีความทนทานที่สูงแต่ยังมีข้อกำหนดบางอย่างเช่น ทนการกัดกร่อนได้บางภาวะที่เกิดขึ้น โดยสามารถทนต่อน้ำทะเลได้ที่อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ง่าย ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นได้นั้น หากยังสามารถนำมารีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยไม่เกิดปัญหาด้านการกันความร้อน เนื่องจากอลูมิเนียมเป็นตัวนำความร้อนที่ดีเยี่ยมอยู่แล้วจึงไม่สามารถที่จะกันความร้อนได้ แต่ขณะเดียวกันอลูมิเนียมก็ยังได้รับความนิยมในการนำมาใช้ผลิตอุปกรณ์เครื่องครัวกันอย่างแพร่หลาย ทางด้านความสวยงามอลูมิเนียมมีสีสันที่หลากหลายและมีความสวยงามอยู่แล้ว จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมาก และได้รับความนิยมมากเช่นกัน

2.3.2.6 แหล่งที่มาของอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่ตรวจพบเจอจากประเทศออสเตรเลียได้โดยมีการทำเหมือนในแบ่งต่างๆและพบแร่ธาตุบอกไซต์และมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปให้ได้อลูมิเนียมขึ้นมาที่มีลักษณะเป็นเม็ดมีรูปร่างกลมขนาดเล็ก และทำให้มีการใช้แร่ธาตุนี้เป็นทีแพร่หลายในงานด้านต่างๆและเป็นยอมรับในการอุตสาหกรรมการผลิตโลหะที่มีน้ำหนักเบา

อลูมิเนียมเป็นโลหะหนึ่งที่มีสมบัติโดดเด่นและได้รับความนิยมในการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยมีน้ำน้อยและเบา เป็นวัสดุนำความร้อนได้ดี และมีความแข็งแรงเกิดเป็นสนิมได้ง่าย ที่สำคัญคือมีราคาที่ถูกมาก และหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอย่างหลากหลาย ซึ่งถือว่าเป็นโลหะที่มีประโยชน์อย่างมาก และมีความโดดเด่นของคุณสมบัติไม่ต่างจากโลหะชนิดอื่นๆเลย ซึ่งหากยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตได้ดีอีกด้วย

2.3.3 ผงเหล็ก(Ferro Powder)

กรรมวิธีผง (Powder Metallurgy) เป็นขั้นตอนการที่ขึ้นรูปชิ้นงานโดยมีวัสดุแรกที่เป็นผง โดยการนำทำการอัดให้ได้รูปทรงที่ต้องการจากนั้นนำไปให้ภาวะความร้อน แบบ sintering (ให้ความร้อนโดยไม่มีการหลอมเหลว) เพื่อให้ผงและส่วนผสมอื่นๆประสานติดกันเป็นชิ้นงานของแข็ง ซึ่งในปัจจุบันประมาณ 70% ของชิ้นงานที่ผลิตจากกรรมวิธีผงจะอยู่ในชิ้นส่วนของรถยนต์ เช่น piston rings, connecting rod, เกียร์, และอื่น ๆ นอกจากนี้ยังพบมากในเม็ดมีด ดอกกัด ได ชิ้นส่วน แม่เหล็ก ชิ้นส่วนของเครื่องบิน เช่น landing gear, ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ในเครื่องบิน และชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์มากมาย ข้อเด่นอย่างหนึ่งของ Powder Metallurgy คือนำมาผลิตชิ้นงานที่เกิดความซับซ้อนได้อย่างที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูง วัสดุที่นิยมนำมาขึ้นรูปแบบกรรมวิธีผงคือ เหล็ก ทองแดง อะลูมินัม ดีบุก นิเกิล ไทเทเนียม และ โลหะทนความความร้อน (ไนโอเบียม ทังสเตน แทนทาลัม)

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากกรรมวิธีผง ผลิตภัณฑ์ที่มีความพรุน เช่น bearing ตัวควบคุมการไหล (flow regulators) สามารถทำให้ชิ้นงานมีความพรุนได้ โดยทั่วไปรูพรุนมีขนาดเล็กที่สุดที่ประมาณ 0.0025 mm ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงซับซ้อน ซึ่งต้องใช้กระบวนการหลายขั้นตอนในกรรมวิธีการผลิตอื่นๆ ทั้งนี้พิกัดความเผื่อยังอยู่ในระดับต่ำกว่า 0.1 mm

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุที่ยากในการแปรรูปโดยการตัด หรือ ขึ้นรูปแบบอื่น วัสดุที่มีจุดหลอมเหลวสูง เช่น ไส้หลอดไฟที่ทำจากทังสเตน หรือเม็ดมีดที่ใช้ในการกลึง กัด ที่ทำมาจากทังสเตนคาร์ไบด์ เป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งเกิดจากการรวมกันของโลหะตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป เช่น ทองแดงรวมกับแกรไฟต์ เพื่อใช้ในชิ้นส่วนของมอร์เตอร์ (ทองแดงนำไฟฟ้าดี ส่วนแกรไฟต์เป็นสารหล่อลื่นที่ดี) ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดย PM แล้วมีคุณสมบัติดีเลิศกว่ากรรมวิธีอื่นๆ เช่น ทำแม่เหล็กคุณภาพสูง Fe14Nb2B ผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้คุ้มค่ากว่าวิธีการผลิตอื่นๆ

2.3.3.1 ลักษณะกระบวนการทางโลหะวิทยาของผง

โดยลักษณะการที่มีกระบวนการขึ้นรูปและมีการเปรียบเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ ในการใช้วัสดุที่เป็นผงโลหะนั้น จะมีการใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้ของชิ้นงานนั้น สามารถมีการควบคุมผลิตภัณฑ์ให้มีความหนาแน่นขอโครงสร้าง เช่น วัสดุที่มีผิวไม่เรียบ มีความแข็งแรงและความหนาแน่นดี เป็นต้น ยังมีภาวการณ์แยกส่วนต่างๆ เช่น ส่วนประกอบการขึ้รูปชิ้นงานของวัสดุ ขอการประมวลผลการตัด กลุ่มวัสดุต่าง ที่มีองค์ประกอบเราสามารถควบคุมได้ เช่นการเตรียมวัสดุคอมโพสิต การเตรียมวัสดุโลหะต่างได้ดี

2.3.3.2 กระบวนการพื้นฐานของผงโลหะวิทยา

เป็นกระบวนการขึ้นรูปแบบผงของโลหะ คือ การทำผงและมีผสมของวัสดุนั้นต่อด้วยการขึ้นรูปโลหะซึ่งผ่านความร้อนมีการบดผงโลหะด้วยการสั้นหรือสะเทือนของอุปกรณ์ต่อด้วยการอบชุบด้วยความร้อนเสร็จสินกระบวนการผลิต

2.3.3.3 การขึ้นรูป

กระบวนการขึ้นรูป คือกระบวนการในที่เอาวัสดุต่างมาผสมร่วมกันให้เกิดการหลอมละลายด้วยการผ่านความร้อนโดยมีแม่พิมพ์เป็นข้อกำหนดรูปร่างของชิ้นงานนั้นโดยที่การขึ้นรูปด้วยแรงดันและการขึ้นรูปแบบไม่ใช้แรงดันมีอยู่ 2 วิธีในการขึ้นรูป แต่ส่วนใหญ่จะนิยมใช้การขึ้นรูปแบบอัดขึ้นรูป

2.3.3.4 การประยุกต์ใช้ผงโลหะวิทยา

ขอบเขตการใช้งานของผลิตภัณฑ์โลหะวัสดุมีขนาดเล็กน้ำหนักเบา โดยมีการประยุกต์ใช้เครื่องจักรกลทั่วไป ไปจนถึงการผลิตเครื่องมือที่ต้องใช้ความแม่นยำ ตั้งแต่เครื่องมือฮาร์ดแวร์ไปจนถึงเครื่องจักรขนาดใหญ่ ตั้งแต่ภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ไปจนถึงการผลิตชิ้นส่วนของมอเตอร์ จากงานด้านโยธาและไปจนถึงงานด้านการป้องกันประเทศจากเทคโนโลยีทั่วไปจนถึงขั้นสูงสุดล้ำสมัย เทคโนโลยีหุ่นช่างฝีมือโลหะ วัสดุผสมที่มีคุณสมบัติของผิวที่ไม่เรียบของโลหะผง ชิ้นส่วนโครงสร้างโลหะผง วัสดุป้องกันแรงเสียดทานของโลหะผง เครื่องมือผงโลหะและวัสดุตาย วัสดุแรงเสียดทานของโลหะผง วัสดุแม่เหล็กไฟฟ้าผงโลหะ วัสดุผงโลหะอุณหภูมิสูง ฯลฯ

2.3.3.5 การใช้งานทั่วไปอุตสาหกรรมยานยนต์

ในงานภาคอุตสาหกรรมยายนต์เอาวสดุผงโลหะมาทำเป็น รางวาล์และเฟือง เป็นต้น โดยมีความสามารถที่มีความแข็งแรงและความทนทานที่สุดต่อการสึกหรอและมีการทนความร้อนได้ดีในวัสดุผสมนั้นๆ และปัจจุบันมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในการผลิตชิ้นส่วนต่างๆเพื่อให้ต้นทุนที่ต่ำและคุณภาพที่ดี

1) โดยที่วัสดุผสมนั้นที่มาจากเหล็กมีการพัฒนาไปในทางที่ดีและทำให้เกิดชิ้นส่วนรถยนต์ที่มีโครงสร้างคุณภาพที่ดีเยี่ยม

2) เป็นโลหะที่มีคุณภาพสูงและประสิทธิภาพที่ดีและมีความหนาแน่น และมีความสมบรูณีของชนิดงานอย่างสม่ำเสมอ

3) เป็นวิธีที่มีการคิดค้นการเพิ่มความหนาแน่นของวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตโลหะผสมพิเศษที่โดยทั่วไปประกอบด้วยองค์ประกอบเฟสผสม

4) การผลิตวัสดุที่ไม่สม่ำเสมอ ไมโครคริสตัลไลน์ หรือโลหะผสมที่แปรสภาพดี

5) มีการคิดวิเคราะห์การประมวลลักษณธของรูปร่างและองค์ประกอบต่างของชิ้นงานแบบเฉพาะทาง

2.4 การนำความร้อนของวัสดุ

การนำความร้อน คือ การที่วัสดุต่างมีการถ่ายเทไปยังอีกวัสดุหนึ่งโยการถ่ายเทไปยังตัวกลางที่ผ่านการนำความร้อน เช่น การกาคต้มน้ำร้อนจากภาขนะหนึ่ง โดยที่ความส่งผ่านวัสดุที่เป็นตัวกลางคือหม้อที่เป็นภาชนะต้มน้ำไปยังน้ำ เป็นต้น เมื่อความสมารถของการนำความร้อนเกิดขึ้นทำวัสดุแต่ละชนิดนั้นมีค่าการนำความร้อนที่แตกต่างกันไปในแต่ละรูปแบบของวัสดุนั้นๆ พารามิเตอร์นั้นจะอธิบายความสามารถการนำความร้อนของวัสดุชิ้นนั้นได้ดีสามารถเรียกภาวะดังกล่าวได้ว่า ความสภาพการนำความร้อน วัสดุที่มีค่า K ที่สูงนั้นจะมีค่าการนำความร้อนของวสดุไกด้ดีมากขึ้นเช่น เหล็ก อลูมิเนียม เป็นต้น ยังมีความนิยมใช้กันแพร่หลาย เป็นภาชนะในครัวเรือน หรือเป็นอุปกรณ์ต่างที่มีความเหมาะสมกันการนำความร้อน ส่วนวัสดุที่มีค่า K ต่ำจะนำมาความร้อนได้น้อยและต่ำมาก เช่น ใยแก้ว ยิปซั่ม มีความนิยมที่เอาวัสดุเหล่านี้นำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อนได้เป็นต้น

$$q = -kA_c \frac{dT}{dx}$$

ดังนั้น ถ้าหากต้องการภาวะการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อนได้ดียิ่งขึ้น ต้องมีการเลือกวัสดุตัวกลางที่มีค่าการนำความร้อนที่ดี เพื่อมาเป็นตัวกลางในการนำความร้อนของวัสดุนั้นและเป็นการเพิ่มพื้นที่จะส่งผ่านความร้อนหรือการนำความร้อนไปยังอีกวัสดุหนึ่ง

ภาวะการพาความร้อน ดังนั้นเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการเคลือบที่ผ่านตัวกลางในการนำความร้อนนั้น เกิดขึ้นเฉพาะวัสดุที่เป็นของเหลว หรือ ก๊าซเท่านั้น โดยมีการควบคุมค่าของสัมประสิทธิ์ในการพาความร้อน มีต้องมีการพึ่งตัวกลางเพื่อการพาความร้อนขึ้นกับขนาดของตัวขนาดซึงมักได้จากการทดลองชิ้นต่างๆ หมายถึง ต้องมีตัวกลางหรือวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนที่ดีมาเป็นตัวกลางในการพาความร้อน

$$q = hA_s(T - T_\infty)$$

ดังนั้น ถ้าต้องการการถ่ายเท่ความร้อนที่ดีด้วยการพาให้ได้มากขึ้น ทำด์โดยการเพิ่มค่า h หรือวัสดุที่เป็นตัวกลางและเป็นวัสดุที่ถ่ายเทความร้อนได้ดีและเป้นตัวกลางที่นำความร้อนได้ดีด้วย

การแผ่ความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงไม่อาศัยตัวกลางในการส่งถ่ายความร้อน เช่น การแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลก โดยทั่วไปวัตถุยิ่งมีอุณภูมิสูงจะยิ่งแผ่รังสีความร้อนได้มาก หลักการถ่ายเทความร้อนด้วยการรังสีอธิบายได้ด้วย Stefan-Boltzman Law ดังนี้

$$q = \varepsilon \sigma A_s T^4$$

เมื่อ σ เป็นค่าคงที่ Stefan-Boltzman ซึ่งเท่ากับ 5.6703 10^{-8} (W/m^2K^4)

และ ε เป็นค่าสภาพการเปล่งรังสี (Emissivity)

โดย ε = 1 สำหรับวัตถุดำและ ε=0 สำหรับวัตถุขาว

การนำความร้อน (Heat Conduction) กล่าวคือ เกิดจากภาวะของพลังงานที่ทำให้เกิดความร้อนและทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุหนึ่งไปยังอีกวัสดุหนึ่งโดยมีทิศทางการเคลือนที่ของความร้อน โดยมีตัวกลางเป็นการนำความร้อน เป็นการเกิดกระบวนการทางการถ่ายเทความร้อนในโลหะกานำความร้อน เป็นผลมาจากเคลื่อนที่อิเล็กตรอนในการให้ของเหลวและของแข็งนั้นมีสภาพเป็นภาวะการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่านไปยังตัวนำความร้อนเป็นต้น โดยมีวัสดุที่มีคุณสมบัติการนำความร้อนได้ดี

ถ้าความร้อนสามารถเคลื่อนที่และมีภาวะการนำความร้อนไปยังวัสดุได้อย่างรวดเร็ว จะนิยามวัสดุนี้ว่าคุณสมบัติในการนำความร้อน (Thermal conductivity) วัสดุที่มีระดับในการนำความร้อนสูงความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวมันเองอย่างรวดเร็ว มีข้อดีคือเป็นวัสดุหรือชิ้นงานที่มีการถ่ายเทความร้อนได้ดีและมีการระบายความร้อนได้ แต่ถ้าต้องการจะมีการกักเก็บความร้อนในภาชนะนั้นควรเลือกวัสดุที่มีการระบายความร้อนได้ดีด้วย ถ้าหากต้องจัดเก็บความร้อนเอาไว้ก็ให้เลือกวัสดุที่มีการนำความร้อนที่ต่ำ วัสดุโลหะที่มีค่าการนำความร้อนสามารถดูได้ตาราง 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติการนำความร้อนของโลหะต่างๆ

วัสดุ	ความร้อน W / (m.K)
แคดเมียม(Cadmium)	92
โคบอลต์(Cobalt)	69
โครเมียม(Chromium)	91
เงิน (Silver)	427
ซิลิกอน(Silicon)	83.5
ซีลิเนียม(Selenium)	0.5
ดีบุก (Tin)	67
ตะกั่ว (Lead)	35.2
ทอง (Gold)	315
ทองคำขาว(Platinum)	73
ทองแดง(Copper)	398
ทอเรียม(Thorium)	41
ทังสเตน(Tungsten)	178
แทนทาลัม(Tantalum)	57.5
ไทเทเนียม(Titanium)	22
นิกเกิล (Nickel)	90.5
ไนโอเบียม(Niobium)	53
แมกนีเซียม(Magnesium)	156
แมงกานีส(Manganese)	156
โมลิบดีนัม(Molybdenum)	138
ยูเรเนียม(Uranium)	25
โรเดียม(Rhodium)	150
วาเนเดียม(Vanadium)	60
สังกะสี (Zinc)	121
เหล็ก (Iron)	80.3
เหล็กกล้า (เหนียว) (Steel (Mild))	50

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติการนำความร้อนของโลหะต่างๆ(ต่อ)

วัสดุ	ความร้อน W / (m.K)
อลูมิเนียม (Aluminum)	237
ออสเมียม(Osmium)	61
อิริเดียม(Iridium)	147

จุดหลอมเหลว (Melting point) เป็นรูปแบบและคุณสมบัติเฉพาะ โดยมีอุณหภูมิของวัสดุนั้นที่มีการเปลี่ยนไปจากของแข็งกลายเป็นของเหลวตัวอย่างเหล็กกล้าจะมีจุดหลอมเหลวอยู่ประมาณ 1,700 องศาเคลวิน ส่วนวัสดุอื่นๆดูได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 จุดหลอมเหลวของวัสดุในหน่วยเคลวิน

วัสดุ	จุดหลอมเหลว Kelvin (K)
แคดเมียม(Cadmium)	594
โคบอลต์(Cobalt)	1,768
โครเมียม(Chromium)	2,133
เงิน (Silver)	1,234
ซิลิกอน(Silicon)	1,684
ซีลิเนียม(Selenium)	490
ดีบุก (Tin)	505
ตะกั่ว (Lead)	600.7
ทอง (Gold)	1,336
ทองคำขาว(Platinum)	2,043
ทองแดง(Copper)	1,357
ทอเรียม(Thorium)	2,023
ทังสเตน(Tungsten)	3,673
แทนทาลัม(Tantalum)	3,253
ไทเทเนียม(Titanium)	1,943
นิกเกิล (Nickel)	1,726

ตารางที่ 2.3 จุดหลอมเหลวของวัสดุในหน่วยเคลวิน (ต่อ)

วัสดุ	จุดหลอมเหลว Kelvin (K)
ไนโอเบียม(Niobium)	2,740
บิสมัท(Bismuth)	544
เบริลเลียม(Beryllium)	1,558
พลวง(Antimony)	903
พลูโตเนียม(Plutonium)	913
แมกนีเซียม(Magnesium)	923
แมงกานีส(Manganese)	1,517
โมลิบดีนัม(Molybdenum)	2,893
เหล็ก (Iron)	1,809
อลูมิเนียม (Aluminum)	933
ออสเมียม(Osmium)	3,298
อิริเดียม(Iridium)	2,723

2.5 แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบหมุน

2.5.1 เครื่องขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง ชนิดแบทช์ไทพ (Batch type)

เป็นเครื่องที่ราคาถูกและต่ำในท้องตลาด เพราะว่ามีงานทำที่ง่ายและขั้นตอนการทำน้อยลงที่สุดแต่ต้องใช้แรงงานเป็นจำนวนมากในการผลิต ทำงานเป็น Batch โดยที่แม่พิมพ์ที่เติมพลาสติกจะหมุนอยู่ภายในเตาอบ เมื่อครบเวลาการทำงานแม่พิมพ์จะถูกนำออกมาจากเตาอบและแม่พิมพ์อันใหม่จะถูกใส่แทนที่เข้าไป ต่อจากแม่พิมพ์ออกจากเตาอบจะถูกเคลื่อนไปยังหน่วยหล่อเย็นเพื่อให้เกิดการ Cure ก่อนที่จะการเอาชิ้นวัสดุออกจากแม่พิมพ์

รูปที่ 2.12 เครื่องขึ้นรูปชนิด แบทช์ไทพ (Batch type)

2.5.2 เครื่องขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง ชนิดฟิกซ์อาร์ม (Fixed-arm)

ซึ่งเป็นเครื่องที่ถูกทำการค้นคิดและพัฒนามีการคิดรูปแบบและเปลี่ยนไปตามยุคและกาลเวลา มีขนาดของเครื่องที่ลักษณะขนาดประมาณเส้นผ่านศูนย์กลางวงสวิง 40 นิ้ว ใหญ่ที่สุดถึง 150 นิ้ว เป็นเครื่องแบบที่ได้ความสนใจและนิยมมาใช้งานแบบหนึ่งในปัจจุบันให้ผลตอบแทนที่ดี ได้จำนวนผลิตภัณฑ์มาก และซ่อมบำรุงรักษาที่ง่าย สะดวกต่อการดูแล มีแบบต่างๆหลายแบบ เช่น แบบ 3 แขน , แบบ 4 แขน เป็นต้น ถ้ามีอะไรนอกจากนี้ยังมีส่วนต่างของอุปกรณ์ๆของจำนวนห้องในแบบ 3 แขน แต่ละแขนจะติดแน่นอยู่กับ Turret ตรงกลางโดยแต่ละแขนทำมุม 120 องศา จะเคลื่อนที่พร้อมกัน แต่ละแขนจะเคลื่อนที่มีปัญหา เช่น วิธีการที่ทำให้วัสดุหรือชิ้นงานเย็นลงและมีการหล่อเย็นที่ไม่เท่ากันของวัสดุแต่ละชนิดเป็นต้น ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยเครื่องแบบ 4 แขน ซึ่งเราสามารถเพิ่มห้องได้อีก 1 ห้อง โดยอาจเป็นส่วนการให้ความร้อน หรือการหล่อเย็นก็ได้ตามความเหมาะสมโดยแต่ละแขนจะทำมุม 90 องศา สำหรับการใช้ไวนิลพลาสติกซอล ควรใช้กับเครื่องแบบ 4 แขน โดยมีตู้อบ 2 ห้อง เพราะต้องค่อยๆเพิ่มอุณหภูมิที่มีแม่พิมพ์เฉพาะอาจจะต้องมีการบรรจุแก๊สเฉื่อยเพื่อให้ค่าความดันต่ำๆ ป้องกันการลดขนาดของชิ้นงาน หรือเติมไนโตรเจนเพื่อไล่ออกซิเจนออกจากแม่พิมพ์ ป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น (Oxidation) ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิทางกายภาพของชิ้นงาน การหมุนกลับของแม่พิมพ์ภายในตู้อบก็สามารถช่วยให้ผลวัตถุดิบไหลได้ดีขึ้นภายในแม่พิมพ์ที่มีชิ้นส่วนซับซ้อนมาก

รูปที่ 2.13 เครื่องขึ้นรูปชนิดฟิกซ์อาร์ม (Fixed-arm)

2.5.3 เครื่องขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง ชนิด อินดิเพนเดนท์อาร์ม (Independent arm)

เครื่องแบบนี้จะมี 5 สถานีประกอบด้วย Oven station จำนวน 1 สถานี Cool station จำนวน 1 สถานี Intermediate station จำนวน 1 สถานี และ load / unload station จำนวน 2 สถานีการเคลื่อนที่เป็นแบบเดินหน้าและถอยหลังไม่ทำให้เกิดความสับสนในเรื่องตำแหน่งและเวลา

สามารถแยกเวลาในการ cure จากแขนหนึ่งไปยังอีกแขนหนึ่งได้อย่างสมบูรณ์เพราะแต่ละแขนแยกเป็นอิสระต่อกัน

รูปที่ 2.14 เครื่องขึ้นรูปชนิด อินดิเพนเดินทอาร์ม (Independent arm)

2.5.4 เครื่องขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง ชนิดสเทรทไลน (Straight line)

เป็นเครื่องที่ผลิตมาเพื่อผลิตชิ้นงานขนาดใหญ่เครื่องเป็นแบบ Shuttle Carriage การทำงานจะเป็นแบบเส้นตรงมีเตาอบและหน่วยหล่อเย็นอยู่ที่ปลายแต่ละด้าน และมีหน่วย load / unload อยู่ตรงกลาง

2.5.5 เครื่องขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง ชนิดร็อคแอนด์โรล (Rock and Roll)

เป็นเครื่องขึ้นรูปแบบ Open Flame rock and roll ซึ่งเป็นเครื่องที่มีราคาค่อนข้างต่ำเหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีลักษณะใหญ่ ทรงกระบอกกรวงดังรูปที่ 2.15 หมุนในทิศทางขนานกับพื้น และเครื่องจะทำการสลับกันกระดกขวาซ้ายโดยทำมุมประมาณ 45 องศา โดยการหมุนโดยรอบตัวเองจะเร็วกว่าการกระดก

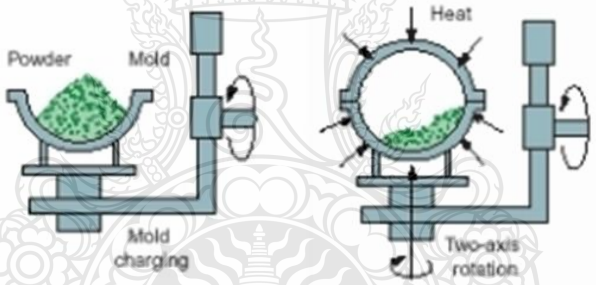
เครื่องร็อคแอนด์โรล อีกแบบหนึ่งที่เรียกว่าเครื่องร็อคคิง โอเวน (Rocking oven machine) โดยยังมีกระบวนการทำงานเหมือนกัน แตกต่างตรงที่ภายในห้องอบแม่พิมพ์จะทำการหมุนทำให้การสูญเสียความร้อนลดลง จึงเหมาะกับการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีลักษณะสูงยาว ได้แก่ เรือแคนนู (Canoes) ถังน้ำ และเสาไฟฟ้า เป็นต้น

เครื่องร็อคแอนด์โรล ในส่วนของข้อดีนั้นคือใช้ต้นทุนต่ำในการผลิตชิ้นงานขนาดใหญ่ แต่ยังมีกระบวนการอยู่บ้างคือผลิตใช้เวลาผลิตนานและค่อนข้างมีความยุ่งยากในการทำงาน เนื่องจากต้องอาศัยแรงงาน เพราะในระบบกระบวนการทำงานยังไม่เป็นอัตโนมัติโดย

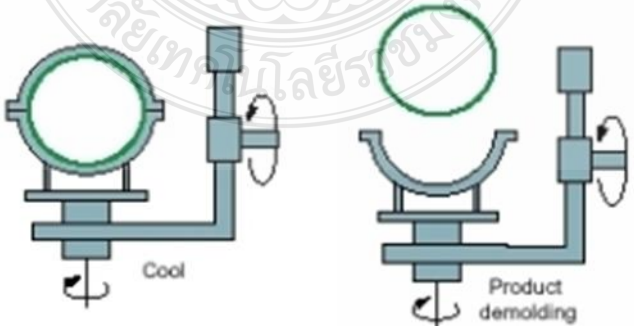
รูปที่ 2.15 เครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุน

2.5.6 กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุนเหวี่ยง

การทำงานของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกแบบหมุนโดยทั่วไปจะมีการแบ่งการทำงาน 4 ขั้นตอน พื้นฐานหลักๆ



รูปที่ 2.16 กระบวนการขึ้นรูปกระบวนการที่ 1 และ กระบวนการที่ 2



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการขึ้นกระบวนการที่ 3 และ กระบวนการที่ 4

กระบวนการที่ 1 เป็นการเทเม็ดพลาสติกลงไปในแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ข้างต้น โดยมีการคำนวณปริมาณในการใช้พลาสติกนั้น หลังจากนั้นทำงานปิดฝาแม่พิมพ์ลงไป แล้วทำการเอาแม่พิมพ์เข้าไปในห้องที่เตรียมไว้ตั้งอุณหภูมิที่กำหนด

กระบวนการที่ 2 เป็นวิธีการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ในห้องอบที่มีความร้อน และความร้อนจะส่งผ่านจากภายนอกแม่เพื่อให้มีการหลอมละลายในแม่พิมพ์ด้วยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 220 ถึง 400 องศา ซึ่งในขณะเดียวกันมีการหมุนเหวี่ยงในแนวสองแกนในเวลาเดียวกัน ตั้งเพื่อให้แม่พิมพ์เกิดการกลิ้งไปมา ทำให้ความร้อนจากผิวภายนอกของแม่พิมพ์ส่งผ่านเข้าไปด้านในแม่พิมพ์และถึงเม็ดพลาสติก ทำให้พลาสติกเกิดการหลอมเหลวขึ้น

ในการเหนียวติด (Tackiness) ซึ่งทำให้พลาสติกบางส่วนถูกเคลือบซึ่งเป็นการเกาะและยึดติดกับผิวชิ้นงานในของแม่พิมพ์เป็นชั้นบางๆพลาสติกส่วนอื่นๆจะถูกเหวี่ยงหลุดออกไปเนื่องจากอิทธิพลจากการหมุนเหวี่ยงแบบกลิ้งไปมาเมื่อให้ความร้อนต่อไปเรื่อยๆ ความร้อนจะถูกส่งผ่านไปยังวัสดุชั้นแรกที่เคลือบยึดติดกับแม่พิมพ์ ทำให้มีความร้อนมากพอที่จะทำให้เกิดการเคลือบชั้นในของพลาสติกชั้นถัดไปลงบนพลาสติกชั้นแรก อิทธิพลจากในการหมุนเหวี่ยงและการนำผ่านความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดการเคลือบของพลาสติกเป็นชั้นๆจนหมดพลาสติกหลอม แต่เนื่องจากการนำความร้อน (Heat conductivity) ของเทอร์โมพลาสติกมีค่าต่ำมาก จึงทำให้การเพิ่มความหนาของชิ้นในแต่ละชั้นใช้เวลาที่นานจึงส่งผลให้เวลาของการขึ้นรูป (Cycle time) โดยเทคนิคนี้ค่อนข้างนาน

จึงสรุปได้ว่าการหมุนเหวี่ยงแบบกลิ้งไปมา (Tumbing action) มีส่วนช่วยให้พลาสติกหลอมเข้าไปสัมผัสกับแม่พิมพ์หรือชั้นของพลาสติกที่ฉาบติดกับผิวของแม่พิมพ์อยู่ก่อนหน้าแล้ว หลังจากพลาสติกหลอมทั้งหมดฉาบติดตามรูปร่างของแม่พิมพ์แล้ว ให้ความร้อนต่ออีกระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้พลาสติกเชื่อมตัวติดกันในแต่ละชั้น หลอมรวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวกัน และทำให้ผิวเรียบมาก

กระบวนการที่ 3 การหล่อเย็น ทำการหมุนเหวี่ยงต่อจากขั้นตอนที่แล้ว ทำการเอาออกมาจากเตาให้ความร้อน แล้วนำเข้าสู่การหล่อเย็น เพื่อเทชิ้นงานชิ้นที่เย็นตัวลง โดยใช้ลมเย็นเป่าที่ด้านนอกพิมพ์ แต่บางเทคนิคใช้การฉีดน้ำแข็งเย็นหลังจากที่พลาสติกภายในแม่พิมพ์เป็นของแข็ง แล้วเลื่อนแม่พิมพ์ออกจากตู้อบ

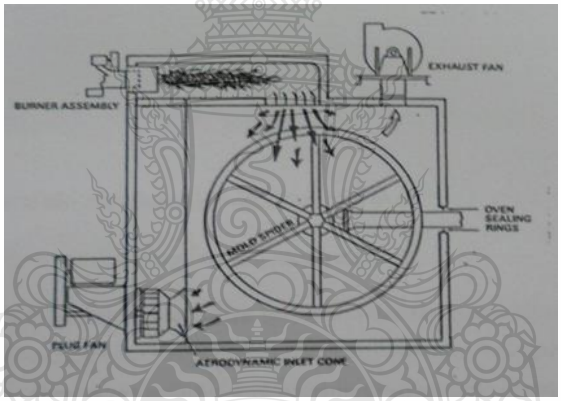
กระบวนการที่ 4 ขั้นตอนถอดชิ้นงาน ถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และปล่อยให้เย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิห้อง แล้วเริ่มวัฏจักรใหม่ของการผลิต ขั้นตอนการแปรรูปพลาสติกด้วยเทคนิคแม่พิมพ์หมุนเหวี่ยง ซึ่งแสดงรายละเอียดของการผลิตทั้ง 4 ขั้นตอน จากขั้นตอนการผลิตจะเห็นว่าการผลิตชิ้นงานโดยเทคนิคนี้ ไม่ได้ใช้ความดันและแรงจากการเซนตริฟิวส์ที่รุนแรง จึงทำให้ชิ้นงานพลาสติกที่ได้ไม่มีความเค้นตกค้าง (Residual stress) จึงทำให้ชิ้นงานมีสมบัติเชิงกลดี สำหรับเวลาของวัฏจักการผลิต

(Cycle time) จะขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติก ความหนาของผนังชิ้นงานตามความต้องการการผลิต และความหนาของผนังแม่พิมพ์ ซึ่งเวลาที่ใช้ในการแปรรูปมักจะอยู่ในช่วง 30 นาที จนถึง 1 ชั่วโมง 30 นาที

2.5.7 การให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ในกระบวนการผลิตที่นิยมใช้มีอยู่ 3 วิธี ได้แก่

2.5.7.1 (a) An open flame method

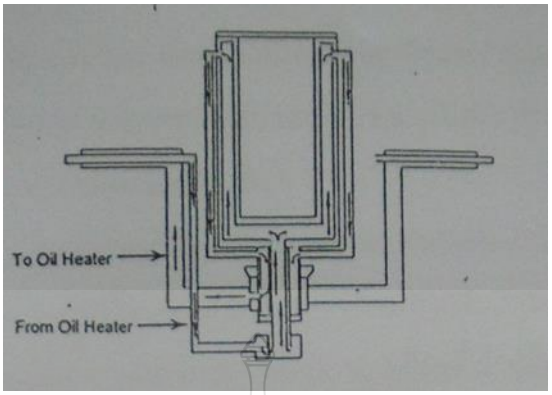
จะเห็นได้ว่าในการใช้เป็นระบบให้ความร้อนในแม่พิมพ์ในเครื่องขึ้นรูป แบบร็อคแอนด์โรล ดังรูปที่ 2.18 เป็นวิธีที่ง่ายสุดในการให้ความร้อนกับแม่พิมพ์ในลักษณะขนาดที่ใหญ่ เป็นวิธีที่ประหยัด ไม่จำเป็นต้องมีและสร้างตู้อบ ยังสามารถใช้กับแม่พิมพ์ที่มีขนาดเล็กที่ไม่ต้องใช้ตู้อบ เป็นการใช้เปลวไฟเผาแม่พิมพ์โดยตรง ความร้อนจะแพร่ผ่านแม่พิมพ์จนถึงพลาสติกภายในแม่พิมพ์ การให้ความร้อนด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ประหยัดในด้านราคาของการจัดสร้างเครื่องจักร แต่จะมีการสูญเสียความร้อนส่วนหนึ่งให้กับสิ่งแวดล้อมบริเวณรอบๆเครื่องจักรไป ทำให้ต้องสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปโดยไม่จำเป็น ทั้งยังสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอีกด้วย



รูปที่ 2.18 A hot air recirculating oven method

2.5.7.2 (b) A hot air recirculating oven method

เป็นการให้ภาวะความร้อนในแม่พิมพ์ซึ่งสามารถควบคุมและกำหนดอุณหภูมิได้ และมีการแผ่ความร้อนในตู้อบให้ทั่วตู้อบได้ดี ดังรูปที่ 2.19 นอกจากนี้ยังสามารถเลือกวิธีการให้ความร้อนได้หลายวิธี เช่น ใช้เปลวไฟจากแก๊ส น้ำมันหรือแผงความร้อนจากไฟฟ้าก็ได้ สิ่งที่สำคัญมากกว่าก็คือ เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน (Oven residence time) ซึ่งจะมีผลอย่างมากต่อความหนาของชิ้นงาน ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ และการนำความร้อนของโลหะที่ใช้ทำแม่พิมพ์



รูปที่ 2.19 A hot oil jacketed mould method

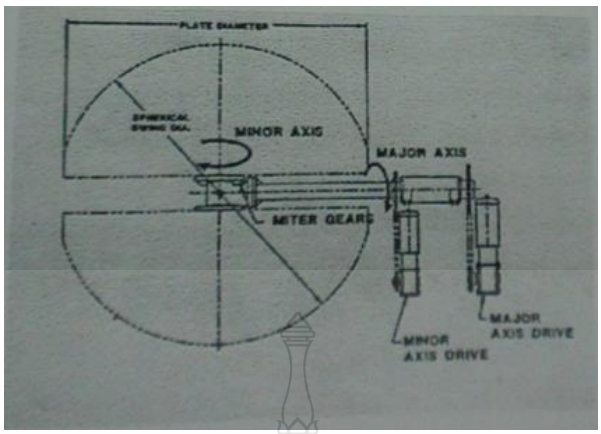
2.5.7.3 (c) A hot oil jacketed mould method

เป็นวิธีการให้ความร้อนที่ดีที่สุด เป็นการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์โดยตรง ดีกว่าวิธีที่ 2 คือไม่มีการสูญเสียความร้อนแก่อากาศในตู้อบ รวมทั้งการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการเปิด-ปิดตู้อบ เนื่องจากไม่ใช้ตู้อบ แต่ใช้การไหลเวียนของน้ำมันที่ได้รับความร้อนไหลเวียนอยู่ในเปลือกชั้นนอกของแม่พิมพ์วิธีนี้จึงใช้อุณหภูมิในการขึ้นรูปต่ำกว่าวิธีอื่นเนื่องจากน้ำมันสัมผัสโดยตรงกับผนังแม่พิมพ์ ทำให้การส่งผ่านความร้อนเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว แต่ก็เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีอื่นๆในด้านราคาของการจัดสร้างแม่พิมพ์

2.5.8 การหมุนของแขนในการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง

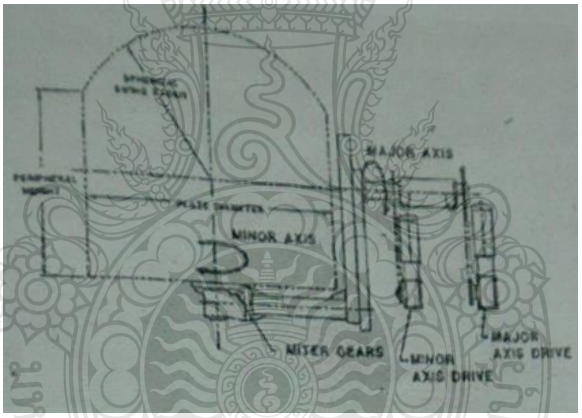
ในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง จะมีปัจจัยหลักๆ 3 วิธี คือ เวลา อุณหภูมิ และการหมุนของแม่พิมพ์แต่จะกล่าวถึงกระบวนการหมุนซึ่งกระบวนการหมุนจะต้องหมุน 2 แกน ได้แก่ แกนตั้งฉากและแกนแนวราบ ตัวอย่างง่ายๆดังแสดงในภาพที่ 2.20 เป็นเครื่องแบบร็อคแอนด์โรล ตัวแม่พิมพ์จะถูกวางลงในแนวราบและจะมีการหมุนในแกนรอง (Minor axis) และขยับขึ้นลง 45 องศา ทั้งทางด้านซ้ายและขวา ในแกนหลัก (Major axis) แล้วให้ความร้อนด้วยเปลวไฟพร้อมกับการหมุน

ลักษณะการหมุนที่ใช้ในเครื่องขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยงนั้นเรียกว่า ไบแอวซิล โรเตชั่น (Biaxial Rotation) ซึ่งเป็นการหมุนใน 2 แกน จากภาพที่แสดงเป็นลักษณะของแขนจับยึดแม่พิมพ์แบบ Straight arm จะเป็นแขนยื่นตรงในแนวราบจากตัวเครื่อง แม่พิมพ์นั้นจะวางไว้ทั้งด้านบนและด้านล่าง แกนหลักจะหมุนโดยตรงจากมอเตอร์ แต่แกนรองจะหมุนโดยการขับผ่านด้วยเพลา



รูปที่ 2.20 Straight arm

ดังรูปที่แสดงด้านล่างเป็นแขนแบบ Offset arm เป็นแบบที่ใช้กับแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ ไม่เหมาะสมกับ Straight arm ที่มักใช้กับแม่พิมพ์ของชิ้นงานขนาดเล็กและจำนวนแม่พิมพ์หลายๆตัว



รูปที่ 2.21 Offset arm

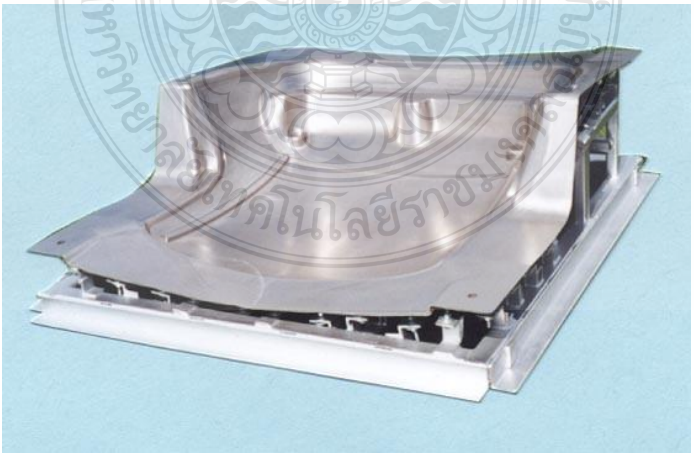
ปริมาตรที่เกิดจากการหมุนของแม่พิมพ์นั้นใช้เรียกว่า “โมลสวิง” (Mouldswing) ซึ่งจะหมุนทั้งแนวแกนราบและแนวแกนตั้งฉากภายในตู้อบหรือตู้ลดอุณหภูมิ ซึ่งจะมีปริมาตรเปลี่ยนไปตามขนาดของแม่พิมพ์ ถ้าโมลสวิงมากขึ้นแขนก็ต้องใหญ่ขึ้นด้วย เพราะโมลสวิงใหญ่มากขึ้นแสดงว่าแม่พิมพ์ก็ใหญ่ขึ้นด้วย และน้ำหนักวัตถุดิบในแม่พิมพ์ก็ต้องเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งโดยปกติเครื่องจะต้องระบุขนาดที่เหมาะสมเอาไว้ด้วย เช่น มีตัวเลขระบุว่า 2000/95 หมายความว่า รับน้ำหนักได้ 2000 ปอนด์ และมีเส้นผ่าศูนย์กลางวงสวิงเท่ากับ 95 นิ้ว

2.5.9 แม่พิมพ์ที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยง แม่พิมพ์ที่นำมาใช้ในกระบวนการนี้มีราคาไม่แพงมาก ขึ้นอยู่กับระดับของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ประเภทของพลาสติก และอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต

2.5.10 แม่พิมพ์แบบอะลูมิเนียมหล่อ (Cast aluminiummould) เป็นแม่พิมพ์ที่นิยมใช้มากที่สุดสำหรับกระบวนการที่ใช้แม่พิมพ์ประเภทนี้ต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์พอสมควร ดังแสดงในภาพที่ 2.22

รูปที่ 2.22 แม่พิมพ์แบบอะลูมิเนียมหล่อ

2.5.11 แม่พิมพ์นิกเกิลแบบขึ้นรูปด้วยไฟฟ้า (Electroformed nickel mould) เป็นแม่พิมพ์ที่ต้องการให้ความละเอียดที่สูงจะเป็นแม่พิมพ์ที่มีความคงทนพอสมควร ดังแสดงในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แม่พิมพ์นิกเกิลแบบขึ้นรูปด้วยไฟฟ้า

2.5.12 แม่พิมพ์แบบโลหะแผ่น (Sheet metal) เป็นแม่พิมพ์ที่เหมาะสำหรับงานใหญ่ ที่ต้องการเครื่องมือที่ราคาไม่แพงสามารถลดต้นทุนการผลิตได้

รูปที่ 2.24 แม่พิมพ์แบบโลหะแผ่น

2.5.13 ลักษณะพื้นฐานบางประการของพลาสติกที่ใช้ขึ้นรูป คุณลักษณะวัตถุดิบที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบหมุนเหวี่ยงมีดังนี้

2.5.13.1 ประการแรก คือการไหลของผงพลาสติก ซึ่งลักษณะการไหล ทิศทาง และการกระจายตัวจะมีความสำคัญมาก

2.5.13.2 ประการที่สอง คือต้องพิจารณาการไหลของผงพลาสติก ขณะหลอมเหลวสามารถไหลติดผนังชั้นในแม่พิมพ์ และไหลตามรูปร่างที่ซับซ้อนได้ในทางเดียวกัน ต้องมีองศาความร้อนคงที่เพราะชิ้นงานที่ได้จะต้องใช้อุณหภูมิที่สูงพอ และใช้เวลานานพอ ซึ่งคุณลักษณะนี้เป็นของเทอร์โมพลาสติก (thermoplastics) ในการที่จะมีการเลือกใช้พลาสติกเพื่อกระบวนการผลิตต้องเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์

2.6 สมบัติของอนุภาคผงพลาสติก (Powder Properties)

เนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนจำเป็นต้องใช้วัสดุที่อยู่ในรูปแบบอนุภาคผงเพื่อจะสามารถผลิตชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์ ลักษณะเฉพาะและสมบัติของอนุภาคผงเป็นสิ่งจำเป็นมากที่สุดในการขึ้นรูป โดยทั่วไปจะมีลักษณะทางกายภาพที่เกี่ยวข้อง เช่น ขนาด รูปร่าง และความหนาแน่น และยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตและการควบคุมคุณภาพได้ เช่น การไหลและกลไกของอนุภาคระหว่างที่อยู่ในแม่พิมพ์ การส่งผ่านความร้อนหรืออัตราความร้อนระหว่างอนุภาคอนุภาคด้วยกันเอง

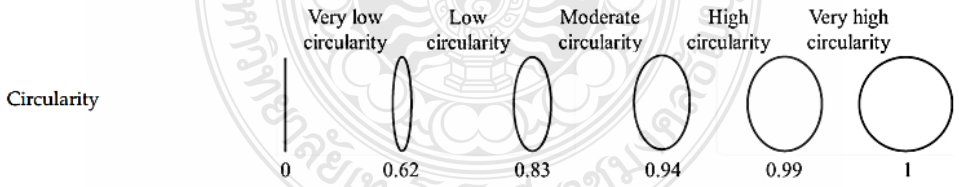
ลักษณะพื้นผิวชิ้นงาน การกระจายความหนารวมไปถึงสมบัติทางกล ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับสมบัติของผงในการขึ้นรูปแบบหมุน

2.6.1 ขนาดและรูปร่างผงพลาสติก (Size and Shape of Plastic powder)

ในกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน ขนาดของอนุภาคเป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์รวมไปถึงกระบวนการผลิต โดยที่อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ดีกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ในกรณีที่รูปร่างของอนุภาคเหมือนกัน เนื่องมากจากอนุภาคขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิว (Surface area) มากกว่าปริมาตรของอนุภาค ในสภาวะของแข็งอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีพื้นที่ของช่องว่างมากกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ และเมื่อได้รับความร้อนอนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้จึงง่ายต่อการส่งผ่านความร้อนระหว่างตัวอนุภาคกับอนุภาคด้วยกันเองมากกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ เป็นเหตุให้อนุภาคมีการหลอมเป็นของเหลวไวกว่า ในขณะที่อนุภาคขนาดใหญ่มีปริมาณพื้นที่ช่องว่างมากกว่าทำให้การหลอมเหลวช้ากว่ามาก

ในส่วนของรูปร่างได้มีการศึกษาถึงค่าความกลม การวัดความกลมคำนวณจากอัตราส่วนของพื้นที่ (Area) กับเส้นรอบวงของอนุภาค (Perimeter) โดยคำนวณได้จากสมการที่ 2.1 ในการคำนวณค่าของความกลมซึ่งตัวเลขที่ได้จะสามารถแสดงเป็นค่าตัวเลขที่อยู่ในช่วง 0-1 ตัวเลขที่น้อยแสดงถึงรูปที่มีลักษณะเส้นหรือเป็นวงส่วนเมื่อตัวเลขเข้าใกล้เลข 1 แสดงถึงรูปร่างที่มีลักษณะกลมสมบูรณ์แสดงดังรูปที่ 2.25 เพื่อให้สามารถใช้พารามิเตอร์นี้ได้อย่างมีความหมายจำเป็นต้องมีการวัดเส้นรอบวงที่แม่นยำ

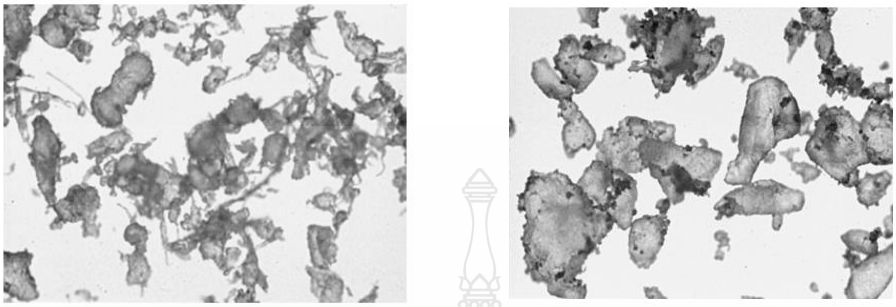
$$Circularity = 4\pi\left(\frac{Area}{Perimeter^2}\right) \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.25 ลักษณะรูปร่างเปรียบเทียบกับค่าความกลม

รูปร่างของอนุภาคตัวบ่งชี้ทางสัณฐานวิทยาต่อกระบวนการขึ้นรูปแบบหมุนพบว่าอนุภาคที่มีลักษณะรีหรือทรงกลมจะเหมาะสมมากกว่าเนื่องมาจากมีความหนาแน่นในการรวมตัวและการสัมผัสระหว่างอนุภาคมากกว่าอนุภาคที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมหรืออนุภาคที่มีปลายยื่นออกมาหรือหาง (Tail) แสดงดังรูปที่ 2.24 และอนุภาคที่มีปลายยื่นออกมามีการขัดขวางการสัมผัสระหว่างอนุภาคกับอนุภาค

เป็นเหตุให้เกิดพื้นที่ว่างระหว่างอนุภาคผงมากขึ้น ส่งผลให้กระบวนการหลอมเหลวช้าลงยังอีกยังเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานที่ได้มีรูพรุน



รูปที่ 2.26 ลักษณะอนุภาค ซ้ายอนุภาคที่มีหาง (Tail) และขวาอนุภาคที่ไม่มีหาง

2.7 การทดสอบทางกลบางประการ

2.7.1 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light microscope) เป็นกล้องที่ใช้แหล่งกำเนิดจากแสง อาจเป็นแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงไฟ เป็นกล้องที่ประกอบมีอุปกรณ์ เช่น เลนส์ 2ชุด เลนส์ส่องใกล้วัสดุและเลนส์ที่ใกล้ตาและวัสดุ กล้องชนิดนี้เป็นกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเป็นกระจกเงา 2 ด้านของกล้อง เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดของแสง ด้วยกล้องรุ่นใหม่ในปัจจุบันใช้หลอดไฟแทนกระจกเงา เพื่อปรับปรุงความเข้มของแสงและคัดเลือกแสงที่มีคุณภาพ ทำให้มองเห็นวัตถุได้ชัดเจขึ้น

รูปที่ 2.27 กล้องจุลทรรศน์ แบบใช้แสง (Light microscope)

2.7.2 ความแข็ง (Hardness) ความแข็งเป็นสมบัติของวัสดุที่ความทนทานหรือทนต่อการเสียรูปซึ่งเกิดจากแรงแตกหักได้ดี มีความต้านทานต่อการเสียดสี กลึง และขีดข่วน การทดสอบความแข็งของวัสดุ (Hardness Test) คือซึ่งสามารถทำการศึกษาและวัดการเปลี่ยนรูปร่างในการกดการต้านทาน

ต่อการเปลี่ยนรูปแบบถาวร รวมทั้งศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะของรูปร่างได้ โดยสามารถและศึกษาทดสอบค่าความแข็งได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการใช้แรงกด การขูด การเจาะกระแทก และอื่นๆ โดยค่าความแข็งของวัสดุนั้นถือได้ว่าเป็นค่าพื้นฐานที่ทำให้สามารถชี้ให้เห็นคุณสมบัติโดยรวมของวัสดุเหล่านั้นได้ สำหรับงานในด้านเชิงอุตสาหกรรม จะต้องมีกระบวนการคัดสรรวัสดุสำหรับชิ้นงาน ความแข็งของวัสดุเป็นปัจจัยที่สำคัญในการขึ้นรูปหรือกระบวนการทดสอบด้วยเครื่องมือต่างที่เหมาะสมในการทดสอบค่าคาวามแข็งนั้นต้องมีผู้เชี่ยวชาญในด้านการทดสอบวัสดุเกี่ยวกับความแข็ง ซึ่งเป็นกระบวนการที่เริ่มทำแล้วจะได้ข้อสรุปของผลท้ายสุดของการทดสอบชิ้นงาน เพราะว่าผลการทดสอบในแต่ครั้งมีค่าไม่เท่ากันต้องมีการวิเคาระห์และหาข้อสรุปในแต่ละครั้งของการทดสอบ เพื่อให้ผู้ทดสอบนำวัสดุที่ใช้งานได้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีประสิทธิภาพเยอะที่สุด

2.7.2.1 ประเภทของการทดสอบความแข็ง การทดสอบความแข็งในปัจจุบันทำได้หลายวิธีหลายรูปแบบ คือการใช้แรงกด วิธีและขั้นตอนในการทดลองของวัสดุนั้น ปัจจุบันนี้มีวิธีที่ได้รับความนิยม 3 รูปแบบ ดังนี้

1) การทดสอบความแข็งแบบบริเนลล์ (Brinell Hardness Test) คือวิธีการทดสอบค่าความแข็งของวัสดุที่ได้รับความนิยมใช้ในปัจจุบันนั้นมีความแม่นยำและเป็นสากลมาก วิธีการวัดนี้จะใช้หัวลูกบอลเหล็กกล้าชุบ (ลูกบอลคาไบด์) โดยมีการเลือกอุปกรณ์หรือเลือกขนาดของหัวกดในการทดสอบของแต่ละครั้งของการทดสอบส่วนมากนิยมใช้ขนาด 10 มม. เพื่อกดลงบนผิวของชิ้นงานนั้นเพื่อจะทำการศึกษาค่าความแข็งของวัสดุต่างๆ เพื่อจะนำมาเข้าสูตรเฉพาะเพื่อหาค่าของแข็งของวัดุนั้นๆ การทดความแข็งแบบริเนลล์มักจะได้ผลเหมือนกัน แต่มีข้อดีและข้อเสียอยู่บางในการทดลองลักษณะแบบนี้เมื่อผิวของวัสดุไม่เรียบเสนอกัน รอยกดจะกว้างและลึกจึงไม่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขนาดเล็กและบาง

2) การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Test) คือวิธีการทำนิยมกันมากจนถึงปัจจุบัน โดย Stanly P. Rockwell ได้รับความนิยมเพราะเป็นวิธีที่ใช้อุปกรณ์และเวลาไม่มากก็ทราบผลการทดลอง ส่วนวิธีการนี้คือจะมีการใช้หัวกด 2 รูปแบบ คือเพชรทรงกรวย นั้นเหมาะสมใช้กับโลหะที่มีความแข็งมาก และลูกเหล็กที่มีรูปทรงกลม เหมาะสมใช้กับโลหะทั่วไป (แต่ละหัวที่กล่าวมามีหลายขนาดให้เลือกใช้) แบบการทดสอบนั้นโดยใช้วิธีในการใช้แรงกดลงไปบนผิวชิ้นงาน ใช้แรงปกติ เหมือนกับการจิ้มไว้ในตำแหน่งที่จะกำหนดในการทดสอบวัสดุนั้นใช้แรงกดและจำนวนครั้งตามมารตามฐานที่กำหนดเอาไว้แล้ว เพื่อจะให้เกิดค่าที่เก็บมีความแม่นยำที่ จากนั้นก็จะมีการประเมินต่อค่าความลึกบนวัสดุหลังถูกแรงกดลงไปบนผิวชิ้นงาน ข้อดีและข้อเสีย คือการทดสอบนี้เป็นการทดสอบค่าความแข็งที่ทำได้หลายวัสดุและมีค่าที่แม่นยำที่สุด และมีขั้นการทดสอบที่ง่าย มีความ

รวดเร็ว ค่าที่ได้แม่นยำ แต่ก็อาจคาดเคลื่อนจากแรงกดทั่วไปได้ ห้ามในการเตรียมผิวของวัสดุชิ้นงานการทดสอบนั้นไม่ให้เกิดรอยขีดข่วนเพราะจะทำให้ผลที่ได้ไม่แม่นยำ

รูปที่ 2.28 การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ (Rockwell Hardness Test)

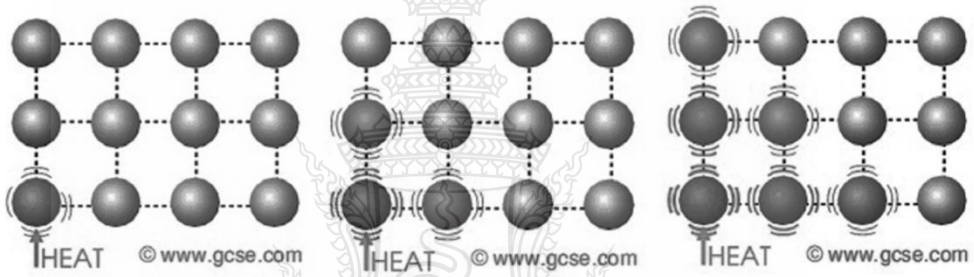
2.7.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ Water absorption (ASTM D570)

ความสามารถในการดูดซึมน้ำของพลาสติกส่วนใหญ่แล้วจะขึ้นอยู่กับชนิดและคอมโพสิตของวัสดุ ตัวอย่างเช่น วัสดุที่ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและคาร์บอน ได้แก่ โพลีโพรพิลีน โพสลีสไตรีน เป็นวัสดุที่ทนน้ำมาก โดยที่วัสดุที่มีองค์ประกอบของกลุ่มออกซีไฮโดรเจน ทำให้มีอัตราการดูดน้ำซึมน้ำมากขึ้นกว่าเดิม และจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ เช่น คอรีน หรือฟลูออรีนมีคุณสมบัติเป็นวัสดุที่มีลักษณะที่ทนต่อการดูดซึมของน้ำแต่ พลาสติกบางชนิดนั้นอาจมีการเปลี่ยนแปลงโดยการเติมวัสดุผสมลงไปในชิ้นงานทดลอง ตัวอย่างเช่น เส้นใยแก้ว ผงโลหะ เป็นต้น โดยที่พลาสติกบางชนิดมาค่าอัตราการดูดซึมน้ำที่น้อยมากตามอุณหภูมิห้อง แต่มีอุณหภูมิสูง ความสามารถในการดูดซึมน้ำนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม วัสดุที่มีค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำ เช่น ใบกวนต่าง ภาชนะใส่อาหาร เป็นต้น สำหรับการทดสอบการดูดซึมน้ำนั้น จะมีขั้นตอนและการใช้อุปกรณ์ เช่น เครื่องชั่งน้ำหนักที่มีแม่นยำ ตู้อบเพื่อ อบชิ้นงานเพื่อไม่ให้เกิดความชื้นในชิ้นงาน และตู้อบต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิในการอบได้ดี

2.7.4 เทคนิคทดสอบการนำความร้อน Thermal Conductivity Analysis (Hot Disk TCA)

TCR เป็นเทคนิคที่ใช้ทดสอบสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ ที่มีตัวอย่างในการทดสอบที่เป็นชิ้นงานทดสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุ ตัวอย่างการ ค่าความร้อน ค่าสมุดลทางความร้อนและค่า Thermal diffusivty ของวัสดุนั้นที่มีรูปร่างเป็นแผ่นชั้นฟิล์ม และในรูปแบบอื่นๆสามารถศึกษาและทดลองค่าสภาพนำความร้อน โดยจะศึกษาถึงอัตราการวัดของปริมาณความร้อนที่ต่อวัสดุต่อหน่วยว่ามีอุณภูมิที่มีค่าที่แตกต่างกันในบริเวณพื้นผิวของชิ้น มีค่าเป็นหน่วยวัตเมตร-เคลวิน โดยสามารถเก็บข้อมูลของค่าความต้านทานความร้อน ซึ่งคำนวณจากอัตราของความหนาแน่นต่อสภาพนำความร้อนของวัสดุนั้น ที่ไหลผ่านจากวัสดุหนึ่งไปอีกด้านของวัสดุชิ้นนั้น แต่ในทางกลับกันในการนำความร้อนจะมีการไหล

ผ่านอยู่ภายในและจะไหลผ่านตัวของวัตถุนั้นเอง ในการการแพร่ความร้อนหรือการนำความร้อนนั้นจะมีการแผ่รังสีความร้อนนั้นที่ถูกถ่ายเทระหว่างวัสดุที่อยู่ในวัตถุห่างกัน หรือความร้อนอาจจะถูกถ่ายเทได้ทั้งสองฝั่งของชิ้นงานหรือวิธีการผสมกัน ส่วนการพาความร้อนนั้น คือการพาพลังงานความร้อนที่ถูกนำมาขนส่งไปยังระหว่างวัตถุด้วยวัตถุที่เป็นพาหะเคลื่อนที่ โดยที่การนำความร้อนนั้นถ้าวัสดุกลายเป็นความแข็งเป็นการรวมกันระหว่างการสั่นและการชนกันของโมเลกุล และการแพร่กับการชนกันของอิเล็กตรอนอิสระจะทำให้การนำความร้อนภายในของโครงสร้างมีการไหลของแก๊สและของเหลวเกิดให้มีการแพร่ของโมเลกุล ระว่างการเคลื่อนไหลแบบไม่มีทิศทาง ดั้งนั้นความร้อนที่ถูกถ่ายเท่ผ่านรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจึงแตกต่างในทางแนวคิดจากการนำความร้อนโดยการแพร่กระจายและการชนของอนุภาคในระดับของจุลทรรศน์ แต่ความแตกต่างนั้นไม่สามารถสังเกตได้ง่ายเว้นแต่วัสดุนั้นกึ่งโปร่งใส



รูปที่ 2.29 ขั้นตอนการถ่ายเทความร้อนเมื่ออนุภาคได้รับความร้อน โมเลกุลสั่นสะเทือนและถ่ายเทพลังงานให้โมเลกุลทีอยู่ติดกัน

นักวิชาการมีการนิยมของสภาพการนำความร้อน (thermal conductivity; K) การนำความความร้อนจากวัสดุหนึ่งไปยังวัสดุหนึ่งในระดับของจุลทรรศน์ที่มีขนาดเล็ก และถือว่าเกิดขึ้นในวัสดุที่นิ่ง กล่าวคือพลังงานศักย์และจลน์จากการเคลื่อนที่ของวัตถุจะนำมาเห็นได้จาการแยกตัวออก พลังงานภายในจะมีการแพร่กระจายของผ่านการปฏิสัมพันธ์อะตอมอยู่โมเลกุลหรือโมเลกุลที่เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วกับอนุภาคใกล้เคียง ซึ่งเป็นการถ่ายเทพลังงานจลน์และศักย์ระดับจุลทรรศน์ให้กัน และปริมาณเหล่านี้ถูกนิยามสัมพัทธ์กับวัตถุซึ่งเราถือว่าอยู่นิ่ง การถ่ายเทความร้อนผ่านการนำเกิดจากการชนกันของอะตอมหรือโมเลกุลที่อยู่เคียงกัน การเคลื่อนที่ไปมาอย่างไม่เป็นระเบียบระหว่างอะตอมของอิเล็กตรอนซึ่งไม่ก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าในระดับมหทรรศน์ หรือการชนและการกระเจิงของโฟตอน ความนำของสัมผัสทางความร้อน (Thermal contact conductance) นักวิชาการมีการศึกษาการนำความร้อนของวัตถุแข็งซึ่งสัมผัสกันระหว่างผิววัสดุทั้ง 2 ฝั่งของชิ้นงาน สังเกตได้ว่ามีความต้านทานของวัสดุ ทางความร้อนที่มีอยู่ระหว่างพื้นผิว ความต้านทานความร้อนระหว่างผิวของวัสดุ การทำความเข้าใจความต้านทาง

ทางความร้อนที่หน้าสัมผัสระหว่างวัสดุสองอย่างเป็นส่วนที่มีความสำคัญหลักในการศึกษสมบัติทางความร้อนของวัสดุนั้น หน้าสัมผัสมักส่งผลต่อสมบัติของวัสดุที่เราจะสังเกตเห็นอย่างมีนัยสำคัญ

การถ่ายเทพลังงานระหว่างโมเลกุลอาจเกิดขึ้นจากการชนกันแบบยืดหยุ่นเช่นแบบของไหลหรือผ่านการแพร่ของอิเล็กตรอนอิสระแบบในโลหะ หรือผ่านการสั่นโฟนอนแบบในฉนวน การไหลของพลังงานความร้อน (ฟลักซ์ความร้อน) ในฉนวนความร้อนเกิดขึ้นจากการสั่นโฟนอนเกือบทั้งหมด โลหะ (เช่น ทองแดง ทองคำขาว ทองคำ ฯลฯ) ส่วนใหญ่นำพลังงานความร้อนได้ดีเนื่องเพราะลักษณะของพันธะเคมีของโลหะ: พันธะโลหะ (ตรงข้ามกับพันธะโคเวเลนต์หรือพันธะไอออนิก) มีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่ได้อิสระซึ่งสามารถถ่ายเทพลังงานความร้อนผ่านโลหะได้อย่างรวดเร็ว อิเล็กตรอนเหลวของโลหะแข็งที่เป็นตัวนำเป็นตัวที่นำฟลักซ์ความร้อนผ่าน ฟลักซ์โฟนอนยังมีอยู่แต่ถ่ายเทพลังงานน้อยกว่า นอกจากนั้นอิเล็กตรอนยังเป็นสิ่งที่นำกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำของแข็ง ตัวนำไฟฟ้าที่ดีเช่นทองแดงก็นำความร้อนได้ดีเช่นกัน ไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectricity) เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของฟลักซ์ความร้อนกับกระแสไฟฟ้า การนำความร้อนภายในของแข็งเทียบได้โดยตรงกับการแพร่ของอนุภาคในของเหลวที่ไม่มีกระแสการไหล

การถ่ายเทความร้อนภายในแก๊สเกิดจากการชนกันของโมเลกุลแก๊ส ในกรณีที่ไร้การพาความร้อนซึ่งปกติแล้วข้องเกี่ยวกับเฟสแก๊สหรือของไหลที่เคลื่อนที่ การนำความร้อนผ่านเฟสแก๊สขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและความดันของเฟสเป็นหลัก กล่าวโดยเฉพาะคือมันขึ้นอยู่กับเส้นทางอิสระเฉลี่ยข องโมเลกุลแก๊สเมื่อเทียบกับขนาดของช่องว่างของแก๊สตามที่ถูกกำหนดโดยเลขคนุดเซน (Knudsen number; K_n)วิศวกรนำสภาพนำความร้อน K มาใช้เพื่อบ่งบอกความสามารถในการนำของสื่อกลาง นิยามของ K คือ "ปริมาณความร้อน Q ที่ถ่ายเทตามเวลา (t) ผ่านความหนา (L) ในทิศแนวฉากกับพื้นที่ผิว (A) ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) " สภาพนำความร้อนเป็นสมบัติของวัสดุที่ขึ้นอยู่กับเฟส อุณหภูมิ ความหนาแน่น และพันธะโมเลกุลของสื่อกลางตัวนั้นเป็นหลัก สภาพแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นจำนวนซึ่งหาได้จากสภาพนำความร้อนและถูกนำมาใช้เพื่อวัดความสามารถในการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนกับภาวะแวดล้อมของวัตถุนั้น

2.7.5 การนำความร้อนในสภาวะคงที่

การนำความร้อนในสภาวะคงที่ (Steady-state conduction) เป็นการนำความร้อนรูปแบบหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิซึ่งก่อให้เกิดการนำความร้อนนั้นมีค่าคงตัว โดยหลังเวลาสมดุล (Equilibration time) ผ่านไปการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของอุณหภูมิ (สนามอุณหภูมิ) ในวัตถุซึ่งนำความร้อนนั้นไม่เปลี่ยนแปลงอีก ดังนั้นอนุพันธ์ย่อยของอุณหภูมิเทียบกับปริภูมินั้นสามารถมีค่าได้ทั้งที่เป็นศูนย์หรือไม่เป็นศูนย์แต่อนุพันธ์ของอุณหภูมิเทียบกับเวลานั้นเท่ากับศูนย์โดยทั่วกัน ปริมาณของความร้อนซึ่งเข้าสู่บริเวณใด ๆ ของวัตถุนั้นเท่ากับปริมาณความร้อนซึ่งออกไปในการนำความร้อนในสภาวะคงที่ (ไม่เช่นนั้นแล้วอุณหภูมิของวัตถุอาจสูงขึ้นหรือต่ำลงขณะที่พลังงานถูกนำออกหรือกักไว้ในบริเวณนั้น)

2.7.6 การนำความร้อนในสภาวะไม่คงที่

การนำความร้อนแบบไม่คงที่ (Transient conduction) คือวิธีการส่งผ่านของพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิและภาวะของเวลา ณ บริเวณใด ๆ ของวัตถุ การนำความร้อนชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า "การนำความร้อนในสภาวะไม่คงที่" โดยที่มีสนามของอุณหภูมิของวัสดุนั้น เปลี่ยนแปลงขึ้นกับเวลา การนำความร้อนในภาวะไม่คงที่อุณหภูมิที่ตรงกับขอบในวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือยังสามารถเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในวัตถุซึ่งเป็นผลจากแหล่งกำเนิดหรือแหล่งระบายความร้อนที่ถูกใส่เข้าไปในวัตถุและทำให้อุณหภูมิที่อยู่รอบแหล่งนั้นเปลี่ยนแปลงตามเวลา เมื่อมีการรบกวนของอุณหภูมิในลักษณะนี้ อุณหภูมิในระบบก็จะเปลี่ยนแปลงตามเวลาและเคลื่อนไปหาสมดุลใหม่พร้อมกับเงื่อนไขใหม่ หากมีภาวะที่ไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากมีจุดสมดุลของความร้อนที่ไหลเข้าระบบและไหลออกจากวัสดุของอุณหภูมิที่จุดนั้นๆโดยที่วัตถุก็ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีขั้นตอนการทั้งหมดเกิดขึ้นแล้ว และการนำความร้อนในภาวะไม่คงที่จะลงลดแต่การนำความร้อนในสภาวะคงที่ในขั้นต่อไปจะมีการไหลผ่านของความร้อนต่อไปหากอุณหภูมิและภายในมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของการนำความร้อนของวัสดุที่ไม่คงที่ การติดเครื่องยนต์ในยานพาหนะเป็นตัวอย่างอันหนึ่งของแหล่งของความร้อนที่ "ถูกเปิด" ภายในวัตถุซึ่งก่อให้เกิดการนำความร้อนในสภาวะไม่คงที่ และจะเปลี่ยนจากการนำความร้อนในสภาวะไม่คงที่เป็นการนำความร้อนในสภาวะคงที่เมื่อเครื่องยนต์ถึงอุณหภูมิทำงาน (Operating temperature) แล้ว อุณหภูมิในเครื่องยนต์และส่วนอื่นของยานพาหนะต่างกันอย่างมากในสมดุลสภาวะคงที่ แต่ไม่มีบริเวณใดในยานพาหนะที่อุณหภูมิจะมีการเปลี่ยนแปลง การนำความร้อนในสภาวะไม่คงที่จบลงหลังจากได้เกิดสภาวะนี้แล้ว การวิเคราะห์ระบบของการนำความร้อนในสภาวะไม่คงที่นั้นซับซ้อนกว่าระบบในสภาวะคงที่อย่างมาก หากวัตถุนำความร้อนมีรูปร่างแบบง่าย แล้วการแสดงออกและคำตอบทางคณิตศาสตร์

เชิงวิเคราะห์จะสามารถเก็บผลข้อมูลในการวิเคราะห์ตัวชิ้นงานได้อย่างสม่ำเสมอและแม่นยำในการทำงาน โดยที่มีทฤษฎีมารองรับการทำงาน การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของคอมพิวเตอร์จากสภาพนำความร้อนที่มีความแตกต่างกันจากรูปร่างของชิ้นงานหรือวัสดุนั้นๆ ความร้อนแบบง่ายจะมีค่าการนำที่สูงและจะทำให้ค่าความร้อนคงที่และเอามาเทียบเปรียบกัน

2.7.7 การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน Thermal Conductivity Analysis (Hot Disk TCA)

การทดสอบสมบัติทางความร้อนเป็นการทดสอบการสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA) และการทดสอบการนำความร้อน (Thermal Conductivity)

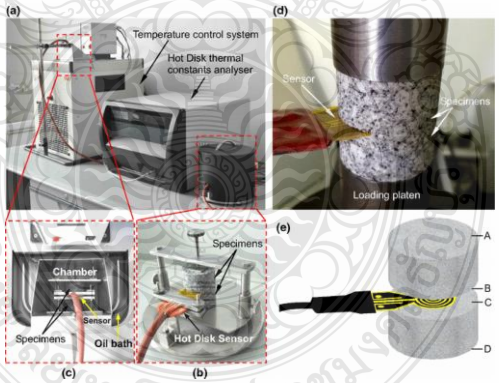
เครื่องทดสอบค่าการนำความร้อนรุ่น Hot Disk 2500s ได้รับมาตรฐานรับรองคือ ISO 22007-2 เครื่องทดสอบประเภทนี้ เหมาะสำหรับการทดสอบการนำความร้อนของวัสดุที่เป็นของแข็ง จากนั้นเครื่องทดสอบจะวัดค่าการนำความร้อนซึ่งเครื่องทดสอบลักษณะนี้พบว่ามีอยู่ที่ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติในประเทศไทย คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องทดสอบมีดังนี้

2.7.7.1. ช่วงของค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 0.005 ถึง 500 W/m.k

2.7.7.2 ช่วงอุณหภูมิที่เครื่องสามารถสร้างได้อยู่ที่ -255℃ ถึง 700℃

2.7.7.3 ขนาดชิ้นทดสอบคือ 30x30 ตารางมิลลิเมตร ถึง 70x70 ตารางมิลลิเมตรและความหนาประมาณ 5 ถึง 10 มิลลิเมตร

2.7.7.4 ความคลาดเคลื่อนร้อยละ ± 2



รูปที่ 2.30 เครื่องทดสอบค่าการนำความร้อน รุ่นHot Disk TPS 2500s

จากลักษณะและขีดจำกัดของเครื่องทดสอบทนี้มีความสามารถ คือเป็นการให้ความร้อนส่งผ่านภาวะของอุณหภูมิที่คงที่เป็นการนำความร้อนของวัสดุหนึ่งไปยังอีกวัสดุหนึ่งเพื่อส่งผ่านค่าการนำความร้อนของวัสดุนั้นๆ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 มีการศึกษาแนวทางการลดปริมาณของการถ่ายเท่ความร้อนของหลังคาคอนกรีต จาก คุณ ณัฐสิท์ เสาหวรวุฒิ นักศึกษา ป.โท คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำการทดลองการถ่ายเทความร้อนของตัวอาคาร โดยวิธีจำลองจากพื้นที่จริง และมีการกำหนดขนาดในแบบจำลองกำหนดวิธีการทดลองค่าของการวัดอุณหภูมิแบบจำลองของอาคาร และผลการวิเคราะห์จากการที่เก็บข้อมูลในการทดลอง เพื่อมาเป็นข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างวัสดุ และหาวิธีแนวทางในการลดการถ่ายเทความร้อนของหลังคาคอนกรีต และมีจำลองการทดลองโดยใช้อาคารพาณิชย์ 3 ชั้น เขตดอนเมือง กรุงเทพ กำหนดเป็นพื้นที่เพื่อจำอากาศในการทดลองการถ่ายเท่ความร้อน และกำหนดความหนาของคอนกรีตที่ มีความหนา 10 เซนติเมตร เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนของหลังคา กำหนดขนาดพื้นที่ 1 ตารางเมตร กว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร

ผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนในครั้งนี้เก็บข้อมูลและผลมาวิเคราะห์จะสรุปได้ว่า แบบจำลองที่ 1 นั้น การทำหลังคาไฟเบอร์ซีเมนต์คลุมปิดบังหลังคาคอนกรีตเพื่อบังความร้อนหรือแสง แสงนั้น มีค่าและความแตกต่างกันของอุณหภูมิที่ผิวของวัสดุที่เลือกใช้ภายและภายในมากที่สุด และมีระยะเวลาที่ความร้อนมีค่าหน่วงนานอยู่บนวัสดุที่เลือกใช้จึงสามารถลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีที่สุด

2.8.2 สมบัติและการนำไปประยุกต์ใช้ วิศณุสรรค์ ชาตอารยะวดี การทบทวนบทความในตอนที่สองนี้จะเป็นการกล่าวถึงสมบัติต่างๆของแกรฟีนนั้น มีคุณสมบัติเฉพาะตัวของแกรฟีนคือ สมบัติการสั่น สมบัติทางการไฟฟ้า สมบัติทางด้านความร้อน สมบัติทางเชิงกล และสมบัติด้านทางแสง โดยปัจุบันจะนิยมมาเป็นตัวนำไฟฟ้า และนำความร้อน เป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง และมีลักษณธมีโปร่งใสมากถึง 97-98 % จึงทำให้แกรฟีนเป็นที่นิยมจากนักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยหลายหน่วยงาน นำวัสดุชิ้นนี้มาพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และยังเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และประเภทอุปกรณ์ต่างๆ เช่น วัสดุคอมโพสิท และระบบนำส่งทางการแพทย์ เซ็นเซอร์ ต่างๆ

2.8.3 การทดสอบสภาพนำความร้อนของ ฉนวนกันความร้อนคอมโพสิท ฉนวนกันความร้อนสามารถช่วยป้องกันการส่งผ่าน โดยจากพลังงานที่มีการถ่ายเทความร้อนนั้น สังเกตได้มีการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุหนึ่งไปยังอีกวัสดุหนึ่ง โดยที่วัสดุนั้นมีลักษณะเป็นฟองอากาศและมีรูปร่างเป็นรูพรุนเล็กในจำนวนที่มาก และยังมีคุณสมบัติของวัสดุที่มีการเก็บความร้อนในตัวของวัสดุอีกด้วย โดยที่มีความร้อนไหลผ่านอยู่ภายในของวัสดุชิ้นงานนี้ จะทำให้มีแรงต้านทานที่ส่งผ่านความร้อนจากวัสดุอีกด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งของชิ้นงานแต่ยังคุณสมบัติของทางกายภาพอื่นๆเช่น ความแข็งของผิวบนชิ้นงาน การผลิตฉนวนความร้อนคอนโพสิท จะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี แต่จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกใช้ในการฉนวนกันความร้อนและเทคนิคในการขึ้นรูปของการทำงานของวัสดุนั้น เช่น ไฟเบอร์กลาส และวัสดุอื่นๆ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะเป็นรายละเอียดเกี่ยวกับแผนการดำเนินงาน ขั้นตอนการดำเนินงาน วัสดุ อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้ เพื่อศึกษาวิเคราะห์หาข้อบกพร่อง ข้อเสีย เพื่อนำเสนอเปรียบเทียบกับข้อมูลเก่า ขั้นตอนของการวิจัยโดยวิธีการจำลองสถานการณ์นี้ จะได้นำเสนอรายละเอียดของแต่ละหัวข้อเป็นลำดับขั้นต่อไป

3.1 แผนการดำเนินงาน

ในการปรับปรุงสมบัติการนำความร้อนของ UPR ผู้จัดทำได้ใช้เวลาทั้งสิ้น 10 เดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2565 ถึงเดือนพฤษภาคม 2566 ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมดได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.1 แสดงการดำเนินงานดังนี้

3.1.1 การดำเนินโครงงานวิจัยและระยะเวลาการดำเนินโครงงานวิจัย

3.1.1.1 ศึกษาเอกสารและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวกับเทคนิคการหล่อเรซิ่น

3.1.1.2 ทำแม่พิมพ์เพื่อหล่อเรซิ่นตามขนาดที่ใช้ในการทดสอบการนำความร้อน

3.1.1.3 ทำชิ้นงานทดสอบสมบัติเชิงกลอื่นๆ

3.1.1.4 การทดสอบการนำความร้อนและสมบัติต่างๆของเรซิ่นที่ผสมผงอลูมิเนียม ผงเหล็ก และคาร์บอนแบล็ค

3.1.1.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

3.1.1.6 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน						
	2560				2563	2564	2565
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	พ.ย.	ม.ค.-ธ.ค.	ม.ค.-ธ.ค.	ม.ค.- ก.ค.
1.ศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง					ช่วงโควิด ได้เดินทางไปทำงานที่ สปป.ลาว เดินทางกลับประเทศไทยไม่ได้		
2.รวบรวมข้อมูลและวางแผนดำเนินงาน							
3.จัดทำโครงงานนำเสนอปริญญานิพันธ์จัดหา							
4.จัดหาวัตถุดิบและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง							

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย(ต่อ)

แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน									
	2565					2566				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.
4.จัดหาวัตถุดิบและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง										
5.ดำเนินการทำชิ้นทดสอบ										
6.ทำการวิเคราะห์สมบัติบางประการของวัสดุทดสอบ										
7.สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่ม										
8.เผยแพร่และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์										

หมายเหตุ : ◄----------► แสดงแผนการดำเนินงานที่วางแผนไว้

◄----------► แสดงการดำเนินงานที่ปฏิบัติจริง

3.2 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1.1 Unsaturated Polyester Resin (UPR) คุณสมบัติที่สำคัญของสารเคมีตัวนี้คือมีความสามรถที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมหลายรูปแบบ และยังมีความสำคัญในการกล่อชิ้นเพราะสารเคมีมีความแข็งทนทานต่อการทำงาน และประเด็นหลักมีการประหยัดต้นทุนในการทำงาน มีขั้นตอนการผสมที่ง่านต่อการทำงานในแต่ละครั้งเกรดเรซิ่นที่ใช้ได้แก่ รหัสเคมีทางการค้า UPR Resin 456/60 และ UPR Resin 901 ตัวที่ 2 มีค่าทนความร้อนได้ถึง 80-110 องศา ประกอบด้วย ฮาร์เดนเนอร์ (ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี) ตัวที่ 1 ชื่อทางการค้า BUTANOX -60 ฮาร์เดนเนอร์ (ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี) ตัวที่ 2 ชื่อทางการค้า โคบอลต์ และโพลิเอสเตอรไม่อิ่มตัว (UPR) ชื่อทางการค้า UPR Resin 456/60 (ชนิดที่ 1)

รูปที่ 3.1 UPR Resin 456/60 (ชนิดที่ 1)

รูปที่ 3.2 UPR Resin 901 ตัวที่ 2 มีค่าทนความร้อนได้ถึง 80-110 องศา (ชนิดที่ 2)

รูปที่ 3.3 โคบอลต์

รูปที่ 3.4 BUTANOX -60(ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี)

3.2.1.2 อุปกรณ์ในการทดลอง

1) แก้วกระดาษ ใช้ในการเป็นภาชนะผสม

รูปที่ 3.5 ภาชนะใช้สำหรับผสม

2) ไม้กวน (ตะเกียบ/ไม้ไอติม)

รูปที่ 3.6 ภาชนะใช้สำหรับผสม

3) แผ่นอะคริลิคใส ใช้สำหรับทำแบบในการเทหล่อชิ้นงาน

รูปที่ 3.7 แผ่นอะคริลิคใสใช้สำหรับทำแบบในการเทหล่อชิ้นงาน

4) แว๊กซ์ถอดแบบ (Mold Release)

รูปที่ 3.8 แว๊กซ์ถอดแบบ (Mold Release)

5) ตาชั่ง 2 กิโลกรัม ใช้สำหรับการชั่งน้ำหนักของ UPR และวัสดุผง

รูปที่ 3.9 ตาชั่ง 2 กิโลกรัม

3.2.1.3 ผงอลูมิเนียม (Aluminum Powder) เป็นวัสดุที่มีความนิยมมาใช้ประโยคได้หลายรูปแบบทั้งในงานอุตสาหกรรมและในครัวเรือน สำหรับในงานอุตสาหกรรมที่มีความนิยมเพราะมีน้ำหนักที่เบา ง่ายต่อการขนย้าย มีขนตอนของการขึ้นรูปของชิ้นงานและทนทานต่อการกัดกร่อน ในภาคครัวเรือน นิยมเอามาตกแต่งบ้าน ทดแทนวัสดุต่างในการสร้างบ้าน เป็นโลหะที่มีคุณสมบัติคงทน ความร้อน การกัดกร่อน น้ำหนักเบาและมีค่าการนำความร้อนที่ดี

รูปที่ 3.10 ผงอลูมิเนียม (Aluminum Powder)

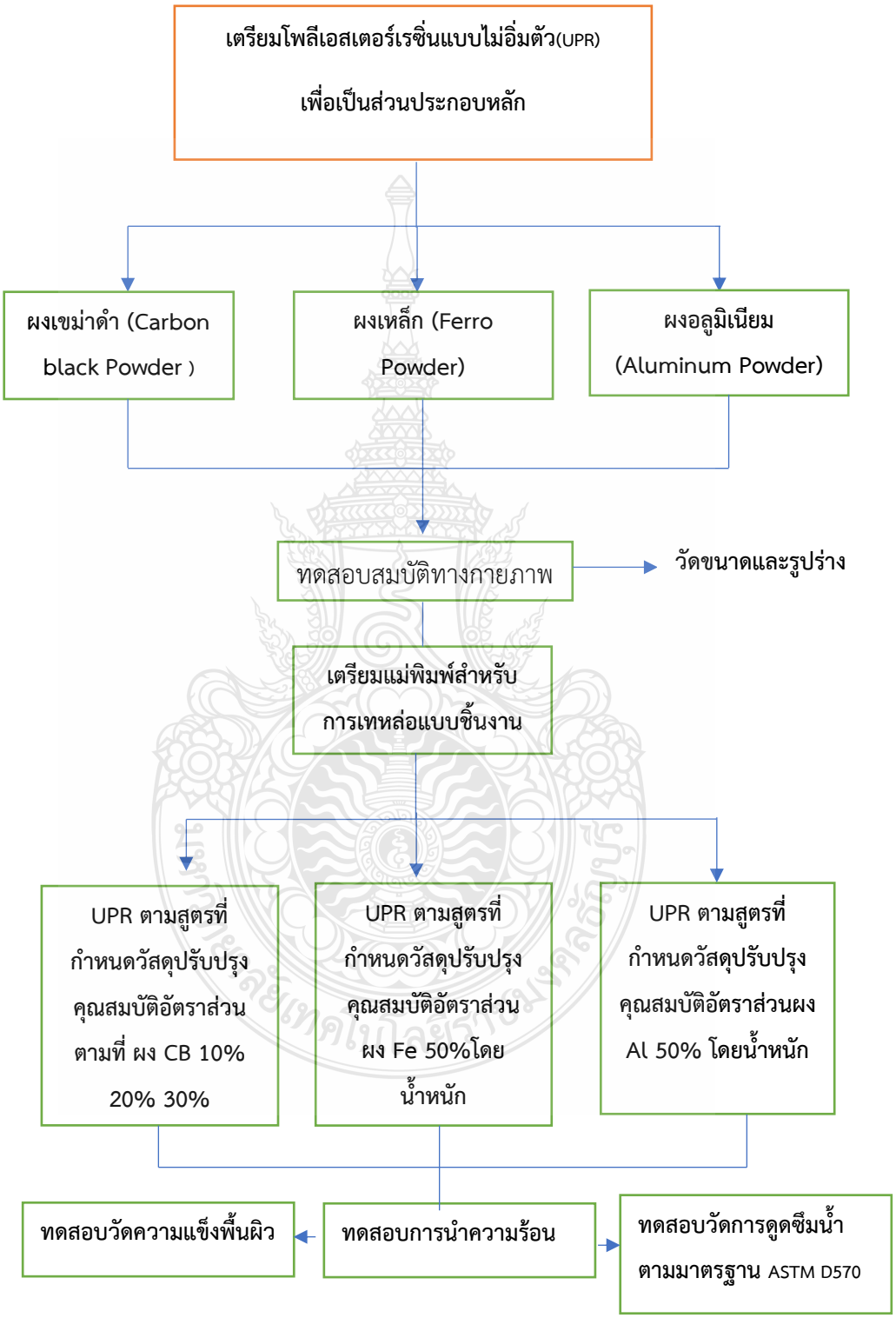
3.2.1.4 ผงเหล็ก (Ferro Powder) ผลิตมาจากเหล็กออกไซด์สีดำสังเคราะห์ (Black synthetic iron oxide) มีลักษณะเป็นผงสีดำ เป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่ใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม

รูปที่ 3.11 ผงเหล็ก (Ferro Powder)

3.2.1.5 คาร์บอนแบล็ค (Carbon black Powder) คาร์บอนแบล็คเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็กในระดับของอนุภาคที่มีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์แบบหรืออยู่ภาวะที่เป็นของเหลวภายใต้สภาวะของการควบคุมทางกายภาพของโครงสร้างและลักษณะผงละเอียดและมีสีประจำตัวคือ สีดำ

รูปที่ 3.12 คาร์บอนแบล็ค (Carbor

3.3 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย



3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานและอัตราส่วน

3.4.1 โพลิเอสเทอร์เรซิ่นไม่อิ่มตัวจาก บริษัท ไทยเทคโค๊ตติ้ง กรุ๊ป จำกัด

3.4.2 โพลิเอสเทอร์เรซิ่นไม่อิ่มตัว (เคมี 2) จาก บริษัท ไทยเทคโค๊ตติ้ง กรุ๊ป จำกัด

- UPR Resin 456/60
- UPR Resin 901

3.4.3 ผงอลูมิเนียม (Aluminum)

3.4.4 ผงเหล็ก (Ferro Powder)

3.4.5 คาร์บอนแบล็ค (Carbon black Powder)

3.4.6 แม่พิมพ์เพื่อหล่อชิ้นงานทดสอบ

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของ UPR ในการทดสอบ

ขั้นตอนและลำดับการเทเคมี	อัตราส่วนผสมของ UPR
UPR Resin 456/901	100 g.
โคบอลต์(ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี)	10-15 ml. (12 ml.)
BUTANOX -60(ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี)	10 ml.
เจลไทน์	40-50 นาที (ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายนอก)

จากตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนผสมของ UPR ในการทดสอบจะใช้สูตรนี้ทั้งหมด เพราะถ้าเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีมากไปเกินกว่าที่กำหนด จะส่งผลต่อการแข็งตัวของชิ้นงาน รูปร่างของชิ้นงานจะมีการหดตัวลงมากว่าปกติ ซึ่งจะทำให้ค่าความแข็งที่ได้เกิดการผิดพลาด และการวัดค่าความร้อนจะไม่สมบรูณ์ เพราะชิ้นงานต้องมีอัตราส่วนผสมที่เท่ากันทุกชิ้น และควรเรียงลำดับขั้นตอนในการเทเคมีหรือตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิด ควรใส่และผสม UPR กับ โคบอลต์ ก่อนที่จะเติม Butanox-60 เสมอ ในการทำงานทุกครั้ง และควรผสม UPR กับ โคบอลต์ให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนถึงจะเติม Butanox-60 ลงไป

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของ UPR กับ Carbon black Powder

สูตร	UPR	CB	โคบอลต์	BUTANOX -60
1. UPR PURE	100%/100g.	0%/0g.	12 ml.	10 ml.
2. UPR / CB	90%/90g.	10%/10g.	10.8 ml.	10 ml.
3. UPR / CB	80%/80g.	20%/20g	9.6 ml.	10 ml.
4. UPR / CB	70%/70g.	30%/30g	8.4 ml.	10 ml.

สูตร	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (℃)	ชิ้นงาน
1.	1	อุณหภูมิห้อง	ชิ้นงานเริ่มเซ็ตตัวแต่ยังมีลักษณะเหมือนเจล
	2		ความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นแต่ชิ้นงานยังไม่สมบูรณ์
	3		ผิวชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์ (จับชิ้นงานแล้วเรซิ่นยังติดมือ)
	4		ผิวชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์
2.	1	อุณหภูมิห้อง	ชิ้นงานเริ่มเซ็ตตัวแต่ยังมีลักษณะเหมือนเจล
	2		ความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นแต่ชิ้นงานยังไม่สมบูรณ์
	3		ผิวชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์ (จับชิ้นงานแล้วเรซิ่นยังติดมือ)
	4		ผิวชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์
3.	1	อุณหภูมิห้อง	ชิ้นงานเริ่มเซ็ตตัวแต่ยังมีลักษณะเหมือนเจล
	2		ความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นแต่ชิ้นงานยังไม่สมบูรณ์
4.	3		ผิวชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์ (จับชิ้นงานแล้วเรซิ่นยังติดมือ)
	4		ผิวชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์

จากตารางที่ 3.3 ทางผู้ทดสอบมีการกำหนดสูตรในการทดสอบครั้งนี้ กำหนดเป็นอัตราส่วนเฉพาะโดยเปรียบเทียบจากการใช้ UPR เพรียว และการใช้ UPR เป็นสารตั้งต้นโดยเติมผงคาร์บอนแบล็คเข้าไป ในอัตราส่วน 10% , 20% และ 30% ตามลำดับ ที่อุณหภูมิห้อง ระยะเวลาทดสอบ 1-4 ชั่วโมง

เหตุผลที่ใส่ผลคาร์บอนแบล็คในอัตราส่วนดังกล่าว เนื่องจากหากใส่ในปริมาณที่มากกว่านี้ ชิ้นงานจะไม่จับตัว เกิดความหนาแน่นน้อย เซ็ตตัวไม่สมบูรณ์ และสารโคบอลต์ และ BUTANOX -60 ที่ต้องใส่เพิ่มลงไปนั้น เพื่อเพิ่มการแข็งตัว ให้ชิ้นงานเกิดความเซ็ตตัวที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนผสม 50 ต่อ 50 ของ UPR กับ Aluminum , Ferro Powder

อัตราส่วนผสม/ปริมาณ						
สูตร		UPR	Al	Fe	โคบอลต์	BUTANOX -60
1.	UPR / Al	100g.	100g.	-	12 ml.	10 ml.
2.	UPR / Fe	100g.	-	100g.	12 ml.	10 ml.
3.	UPR_2 / Al	100g.	100g.	-	12 ml.	10 ml.
สูตร	เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (℃)	ชิ้นงาน			
1.	1	อุณหภูมิห้อง	ชิ้นงานเริ่มเซ็ตตัวแต่ยังมีลักษณะเหมือนเจล			
	2		ความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นแต่ชิ้นงานยังไม่สมบูรณ์			
	3		ผิวชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์ (จับชิ้นงานแล้วเรซิ่นยังติดมือ)			
	4		ผิวชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์			
2.	1	อุณหภูมิห้อง	ชิ้นงานเริ่มเซ็ตตัวแต่ยังมีลักษณะเหมือนเจล			
	2		ความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นแต่ชิ้นงานยังไม่สมบูรณ์			
	3		ผิวชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์ (จับชิ้นงานแล้วเรซิ่นยังติดมือ)			
	4		ผิวชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์			
3.	1	อุณหภูมิห้อง	ชิ้นงานเริ่มเซ็ตตัวแต่ยังมีลักษณะเหมือนเจล			
	2		ความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นแต่ชิ้นงานยังไม่สมบูรณ์			
	3		ผิวชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์ (จับชิ้นงานแล้วเรซิ่นยังติดมือ)			
	4		ผิวชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์			

จากตารางที่ 3.4 ทางผู้ทดสอบได้กำหนดสูตรของ UPR มาเฉพาะ และกำหนดปริมาณวัสดุผงที่เติมลงไปใน UPR เพื่อให้ปรับปรุงคุณสมบัติการนำความร้อน และปรับปรุงคุณสมบัติทางกลบางประการ

ในการกำหนดสูตรครั้งนี้เพื่อให้ชิ้นงานในการทดสอบมีการเซ็ตตัวที่เท่ากัน และมีอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เท่ากัน เพราะถ้าใส่ตัวเร่งทั้ง 2 ตัวมากไปจะทำให้ชิ้นงานมีความร้อนมากเกินไป และอาจจะให้เกิดการแตกหักหรือหดตัวของชิ้นงานได้ ทางผู้วิจัยจึงกำหนดสูตรการผสมดังตารางที่ 3.4 เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาด

3.5 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

3.5.1 ชั่งน้ำหนักเรซิ่นด้วยเครื่องชั่ง เพื่อความแม่นยำในการชั่งขณะที่เทเรซิ่นใส่แก้วควรเทให้ช้าที่สุดเพื่อลดฟองอากาศในเรซิ่นให้น้อยที่สุด

รูปที่ 3.13 การชั่งน้ำหนักเรซิ่น

3.5.2 ตวง Hardener

รูปที่ 3.14 Hardener M60

3.5.3 ชั่งน้ำหนักผงอลูมิเนียม (Aluminium) ผงคาร์บอนแบล็ค (Carbon black Powder) และผงเหล็ก (Ferro Powder) เพื่อความแม่นยำ

รูปที่ 3.15 ชั่งผงอลูมิเนียม (Aluminium) ผงคาร์บอนแบล็ค (Carbon black Powder) และผงเหล็ก (Ferro Powder)

3.5.4 ทำการทาน้ำยาลอกแบบแม่พิมพ์ก่อนจะเทเรซิ่นลงไปในแม่พิมพ์

รูปที่ 3.16 ทำการทาน้ำยาลอกแบบ

3.5.5 ใส่ผงอลูมิเนียม (Aluminium) ผงคาร์บอนแบล็ค (Carbon black Powder) และผงเหล็ก (Ferro Powder) แล้วคนให้เข้ากันช้าๆ ในแต่ละชิ้นงานทิ้งไว้ 5-10 นาทีเพื่อให้ฟองอากาศเหลือน้อยที่สุด

รูปที่ 3.17 ทำการผสมและคนให้เข้ากัน

3.5..6 ใส่ Hardener M60 แล้วคนให้เข้ากันช้าๆ จากนั้นทิ้งไว้ 2-3 นาทีเพื่อให้ฟองอากาศเหลือน้อยที่สุด

3.5.7 เทลงในแม่พิมพ์ตามแบบของที่ชิ้นงาน

รูปที่ 3.18 เทเรซิ่นผสมแล้วลงแม่พิมพ์

3.5.8 ทิ้งไว้ให้ชิ้นงานเซ็ตตัวสมบูรณ์ แล้วทำการแกะออกจากแบบแม่พิมพ์

3.6 วิธีการทดสอบ

3.6.1 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำเพื่อหาสมบัติในการดูดซึมน้ำของเรซิ่นที่เติมผงอลูมิเนียม (Aluminum) ผงคาร์บอนแบล็ค (Carbon black Powder) และผงเหล็ก (Ferro Powder) เปรียบเทียบกันว่าสมบัติการดูดซึมน้ำมากหรือน้อยลงอย่างไรเมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำชิ้นทดสอบขึ้นมาเช็ดให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนัก หลังแช่น้ำคำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหรือเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำได้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} * 100\%$$

3.6.2 วัดความแข็ง (Rockwell hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D785 เตรียมชิ้นงานทดสอบ 1 แผ่น วิธีการทดสอบดังนี้

3.6.2.1 เป็นวิธีการเอาชิ้นงานหรือวัสดุทดสอบมาวางบนโต๊ะชิ้นเพื่อทดสอบ

3.6.2.2 การที่หมันจุดวางชิ้นที่มือปรับระดับของตัวเครื่องมาให้สัมผัสกับหัวกด เพื่อถ่ายแรงของหัวลงไปในชิ้นงานของการทดสอบโดยที่แรงกระทำจะมีประมาณ 10 กิโลกรัมโดยประมาณ

ต้องกระทำแรงก่อนที่จะแรงหลัก เพื่อเป้นการนำรองก็ที่จะลงแรงกระทำจริงลงไปในชิ้นงานเพื่องป้องกันการพลาดที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเจอผิวที่ไม่เรียบจะทำให้ค่าของการวัดไม่เม่นย้ำ

3.6.2.3 หลังจากที่แรงรองกระทำแล้วก็จะมีแรงหลัก (ใช้แรงกด 60 100 150 kg) (บวกนับจากแรงรอง 10+50,10+90,10+140) กระทำด้วยการใช้มือหมุนหรือกดลงอย่างอัตโนมัติในเครื่องสมัยใหม่ ที่ด้านของเครื่องทดสอบ แรงหลักที่กระทำนี้หัวกดจะเคลื่อนที่กดลงไปที่ชิ้นทดสอบ ค่าความแข็งสามารถอ่านได้โดยตรงจากการอ่านที่หน้าจอตัวเลขดิจิตอล หรือจากเข็มนาฬิกาวัดในเครื่องทดสอบ โดยไม่ต้องมีกล้องจุลทรรศน์อยู่ตรงกลาง สเกลที่อ่านแบบร็อคเวลจะขึ้นอยู่กับความลึกของการกด ในกรณีเครื่องทดสอบแบบอัตโนมัติและกดลงอัตโนมัติ อ่านค่าที่กดได้จากการคำนวณโดยดูที่หน้าจอ

3.6.2.4 ปลดแรงออกแล้วนำชิ้นงานออกมาจากทั้งวางชิ้นงาน เสร็จสิ้นการทดสอบ

3.6.2.5 บันทึกผลการทดสอบ

รูปที่ 3.19 เครื่องทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์

3.6.3 การทดสอบขนาดและอนุภาคของวัสดุทดสอบโดยกล้องจุลทรรศน์แบบดิจิตอล (Digital Microscope) รุ่น S04-600X กำลังขยาย 25X-600X อัตราการปรับภาพ 0-40 มิลลิเมตร พร้อมกับคอมพิวเตอร์และโปรแกรมวิเคราะห์ขนาด ImageJ

รูปที่ 3.20 กล้องจุลทรรศน์แบบดิจิตอล (Digital Microscope) รุ่น S04-600X

3.6.4 การทดสอบการนำความร้อน Thermal Conductivity Analysis (Hot Disk TCA) หลักการวัดค่าสภาพนำความร้อน (Thermal Conductivity)วัวดุที่มีประสิทธิภาพของการนำความร้อนที่ดีหรือไม่ดีนั้นสามารถทดสอบและพิจารณาได้จากค่าสภาพนำความร้อนและวัสดุนั้นจะเห็นความสามารถว่ามีค่าการนำความร้อนที่ดีไหม โดยวัดจากค่าอัตราของปริมาณการไหลของความร้อนจากวัสดุต่อหน่วยที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันต่อหน่วยพื้นที่ของวัสดุมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อเมตรเคลวิน นอกจากนี้มีวัสดุเป็นฉนวนกันความร้อนโดยที่สามารถพิจารณาได้จากค่าของต้านทานความร้อน โดยมีความหนาของวัสดุต่อค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุ มีหน่วยเป็น ตารางเมตรเคลวินต่อวัตต์ (m^2 .K/W) ฉนวนกันความร้อนที่ดีต้องมีค่าสภาพนำความร้อนที่ต่ำ และมีค่าความต้านทานความร้อนสูง ค่าสภาพนำความร้อน (k) สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ (3.1)

$$K = \frac{Q}{A}\frac{L}{\Delta T}$$ หน่วย วัตต์ต่อเมตร - เคลวิน (W/m.K) (3.1)

โดย K= สภาพนำความร้อน หน่วย วัตต์ต่อเมตรเคลวิน (W/m.K)

Q= ความร้อนที่ไหลผ่านต่อพื้นที่ผิวตัวอย่าง หน่วย วัตต์ (W)

A= พื้นที่ที่ความร้อนไหนผ่านหน่วยตารางเมตร (m^2)

L= ความหนาของชิ้นทดสอบหน่วยเมตร (m)

ΔT= อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างผิววัสดุด้านอุณหภูมิสูงและด้านอุณหภูมิต่ำ หน่วย เคลวิน (k) ค่าความทานความร้อน (R) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.2)

$$R = \frac{L}{K}$$ หน่วย ตารางเมตร - เควินต่อวัตต์ (3.2)

เครื่องทดสอบค่าการนำความร้อนรุ่น Hot Disk 2500s ได้รับมาตรฐานรับรองคือ ISO 22007-2 เครื่องทดสอบประเภทนี้ เหมาะสำหรับวัสดุที่เป็นของแข็ง ของเหลว ผง วัสดุเสริมแรงพลาสติก โฟม และวัสดุอื่นๆที่มีสมบัติใกล้เคียงอย่างเช่น วัสดุสิ่งทออีกด้วย โดยเครื่องทดสอบจะปล่อยความร้อนผ่านวัสดุและควบคุมอุณหภูมิภายในให้คงที่ จากนั้นเครื่องทดสอบจะวัดค่าการนำความร้อนซึ่งเครื่องทดสอบลักษณะนี้พบว่ามีอยู่ที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติในประเทศไทย

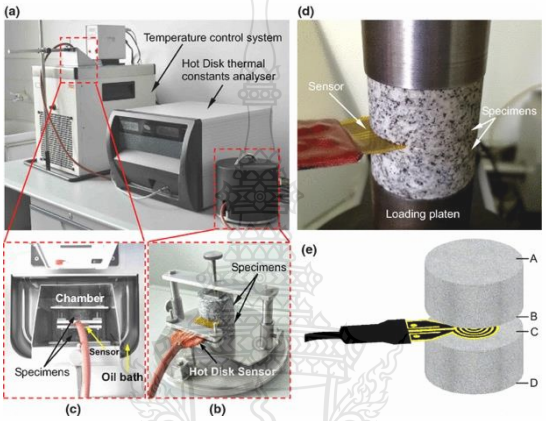
3.6.4.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องทดสอบ

1) ช่วงของค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 0.005 ถึง 500 W/m.k

2) ช่วงอุณหภูมิที่เครื่องสามารถสร้างได้อยู่ที่ -255℃ ถึง 700℃

3) ขนาดชิ้นทดสอบคือ 30x30 ตารางมิลลิเมตร ถึง 70x70 ตารางมิลลิเมตร และความหนาประมาณ 5 ถึง 10 มิลลิเมตร

4) ความคลาดเคลื่อนร้อยละ ± 2



รูปที่ 3.21 เครื่องทดสอบค่าการนำความร้อน รุ่น Hot Disk TPS 2500s

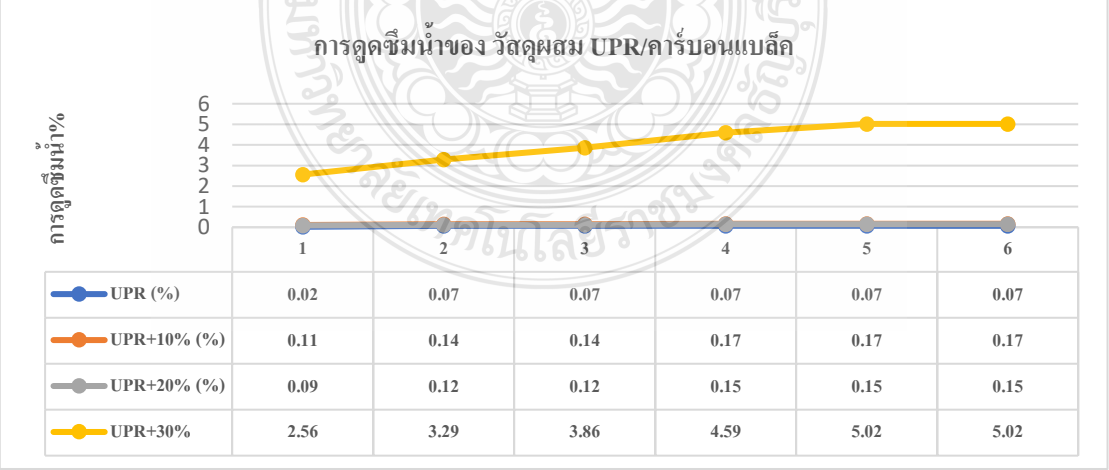
บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการดำเนินงานที่กล่าวมาจึงสรุปขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 ชนิด แยกการนำเสนอผลการทดสอบเรซิ่นที่เติมผงคาร์บอนแบล็ค (Carbon black Powder) ผงอลูมิเนียม (Aluminium) และผงเหล็ก (Ferro Powder) ออกเป็น 4 หัวข้อ ดังนี้

4.1 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 4.1 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานทดสอบ (Carbon black Powder)

สูตร / ชั่วโมง	UPR (%)	UPR+10% (%)	UPR+20% (%)	UPR+30% (%)
1	0.02	0.11	0.09	2.56
2	0.07	0.14	0.12	3.29
3	0.07	0.14	0.12	3.86
4	0.07	0.17	0.15	4.59
5	0.07	0.17	0.15	5.02
6	0.07	0.17	0.15	5.02

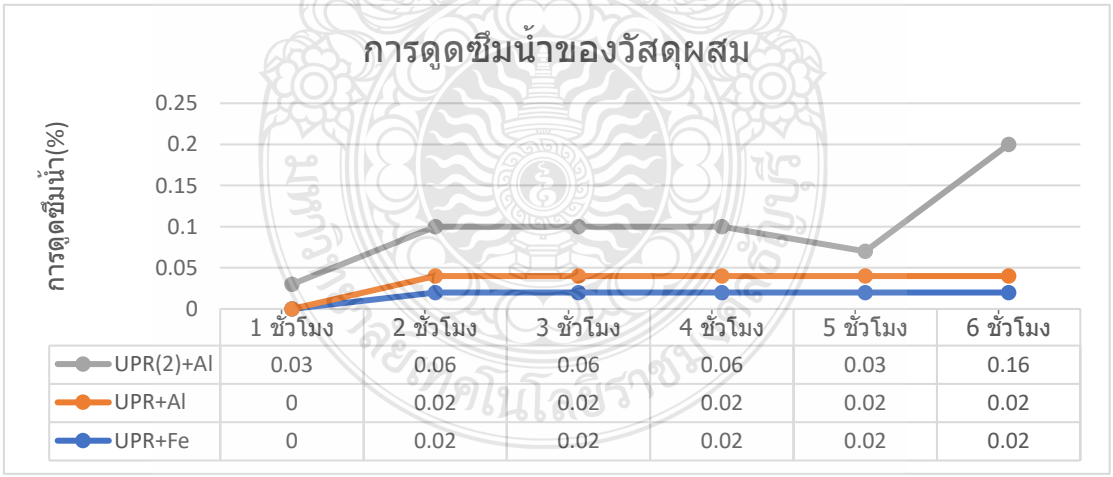


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุผสม

จากตารางที่ 4.1 พบว่า UPR ที่ไม่ได้เติมผงคาร์บอนแบล็คหลังจากที่แช่น้ำผ่านไป 1 ชั่วโมงมีการการดูดซึมน้ำอยู่ 0.02 % และหลังจากแช่น้ำตั้งแต่ชั่วโมงที่ 2-6 ชั่วโมงมีการค่าการดูดซึมน้ำคงที่เท่ากับ 0.07% เมื่อมีการเติมผงคาร์บอนแบล็คที่ 10% 20% และ 30% ตามลำดับพบว่ามีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณของผงคาร์บอนแบล็คที่มากขึ้น เพราะปริมาณผงคาร์บอนแบล็คขึ้นมาของเหนือผิวของ UPR ทำให้มีกค่าดูดซึมน้ำที่มากขึ้นมากกว่าชิ้นงานที่ปริมาณผงตัวผงคาร์บอนแบล็คน้อย

ตารางที่ 4.2 การดูดซึมน้ำของชิ้นงานทดสอบ 2 ชนิด ในอัตราส่วน 50:50

ชั่วโมง \ สูตร	UPR+Al	UPR+Fe	UPR (2) +Al
1	0	0	0.03
2	0.02	0.02	0.06
3	0.02	0.02	0.06
4	0.02	0.02	0.06
5	0.02	0.02	0.03
6	0.02	0.02	0.16



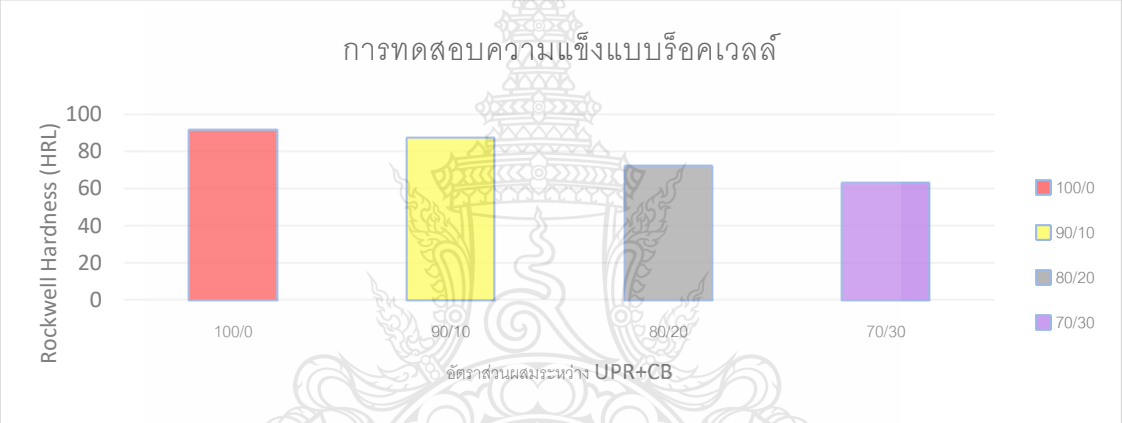
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุผสม

จากตารางที่ 4.2 พบว่า UPR ที่เติมผงอลูมิเนียม และผงเหล็กลงไปที่อัตราส่วน 50:50 เวลาที่ใช้ในการทดสอบที่ 1-6 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่าระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นมีค่าการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้นตามลำดับ ส่วนชนิดของ UPR ได้ค่าการดูดซับน้ำที่เท่ากัน

4.2 การทดสอบความแข็ง

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบความแข็งของ UPR กับผงคาร์บอนแบล็ค ในอัตราส่วนต่างๆ

UPR/Carbon black	ค่าความแข็ง HR
100/0	91.16+-2.61
90/10	87.45+-3.30
80/20	71.78+-3.19
70/30	62.82+-3.14

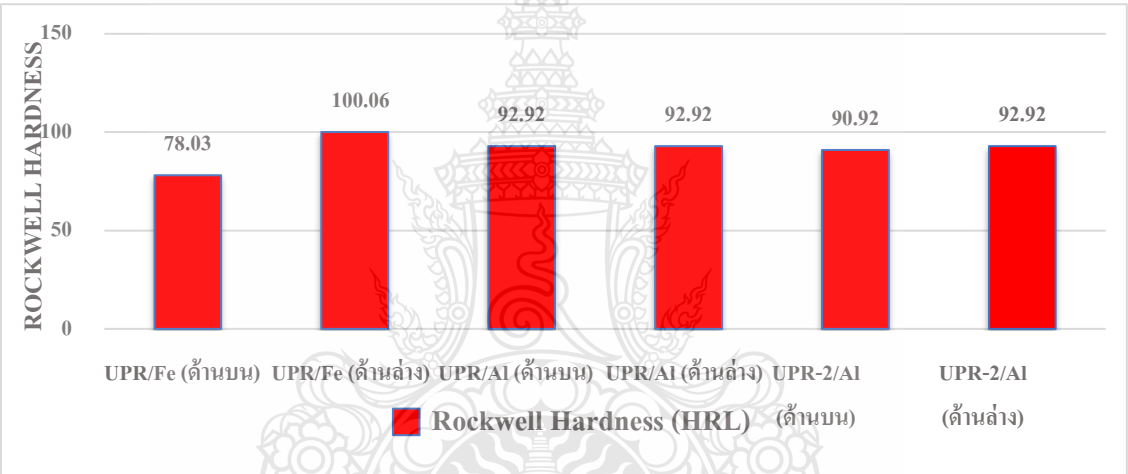


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์ของ UPR+CB

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าความแข็งของ UPR มีค่าลดลงเมื่อเติมผงคาร์บอนแบล็คในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหากเติมผงคาร์บอนแบล็คในปริมาณมากมีการมารวมตัวกันอยู่ที่ชิ้นงานมากเกินไป แต่หากเติมในปริมาณน้อยผงคาร์บอนแบล็คจะมีการกระจายตัวทั่วทั้งชิ้นงาน และเมื่อทดสอบทำให้หัวกดของเครื่องทดสอบสัมผัสโดนกับผงเขม่าดำที่กระจายตัวทั่วทั้งชิ้นงาน แทนที่จะสัมผัสกับเรซิ่นที่ส่งผลทำให้ค่าความแข็งลดลง

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบความแข็งของ UPR กับ ผงโลหะทั้ง 2 ประเภท ในอัตราส่วน 50:50

samples	ค่าความแข็ง HRL
UPR/ผงเหล็ก (ด้านบน) อัตราส่วน 50/50	78.03
UPR/ผงเหล็ก (ด้านล่าง) อัตราส่วน 50/50	100.06
UPR/ผงอลูมิเนียม (ด้านบน) อัตราส่วน 50/50	92.92
UPR/ผงอลูมิเนียม (ด้านล่าง) อัตราส่วน 50/50	92.92
UPR-2/ผงอลูมิเนียม (ด้านบน) อัตราส่วน 50/50	90.92
UPR-2/ผงอลูมิเนียม (ด้านล่าง) อัตราส่วน 50/50	92.92



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าการทดสอบความแข็งแบบร็อคเวลล์

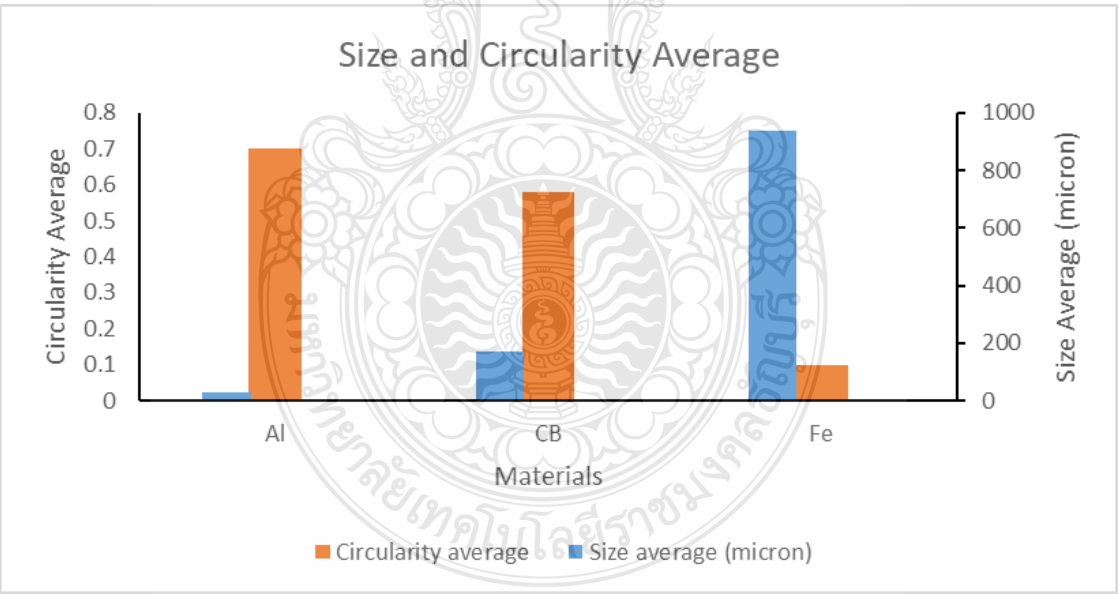
จากตารางที่ 4.4 พบว่าความแข็งของ UPR ที่ผสมกับผงเหล็กมีค่าต่างกัน ค่าที่วัดจากด้านล่างมีค่าความแข็งที่ดีกว่าเนื่องจากผงเหล็กมีอนุภาคที่ใหญ่ทำให้ไม่เกิดการกระจายตัว และผงวัสดุจึงมาเกาะกันด้านล่างมากกว่า ในส่วนของผลทดสอบ UPR ที่ผสมกับผงอลูมิเนียม พบว่าค่าความแข็งทั้งที่วัดจากด้านบนและด้านล่างมีค่าเท่ากัน เนื่องจากผงอลูมิเนียมมีการกระจายตัวทั่วทั้งชิ้นงาน

4.3 ขนาดและความกลมของอนุภาควัสดุผง

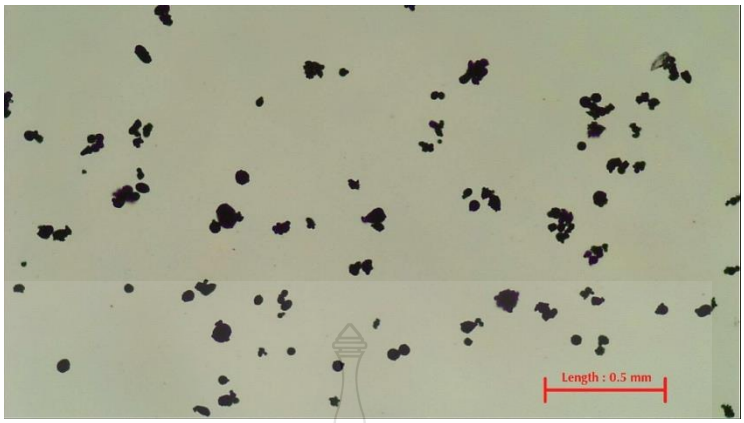
ตารางที่ 4.5 แสดงผลขนาดและความกลมของอนุภาควัสดุผง

Materials	Size average (micron)	Circularity average
ผงอลูมิเนียม (Aluminium)	29	0.7
ผงคาร์บอนแบล็ค (Carbon black)	171	0.6
ผงเหล็ก (Ferro Powder)	936	0.1

จากตารางที่ 4.5 จากผลการทดลองเทียบผงวัสดุทดสอบ 3 ชนิดในขนาดต่างๆ เพื่อหาค่าความกลม พบว่าผงอลูมิเนียม (Aluminium) ที่นำมาทดสอบมีขนาดเล็กที่สุดแสดงผงค่าความกลมได้ดีที่สุด ซึ่งตามหลักการหากค่า Circularity average มีค่าใกล้ 1.0 เท่าไหร่จะบ่งบอกว่ามีขนาดที่กลม จากผลที่ได้อนุภาคของวผงอลูมิเนียม (Aluminium) มีขนาดที่เล็กและกลมจะมีการกระจายตัวของวัสดุผงได้ดี มีความหนาแน่น และทำให้มีค่าการนำความร้อนที่ดี



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงผล size and circularity average



รูปที่ 4.6 ผงอลูมิเนียม (Aluminium) ผ่านกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า

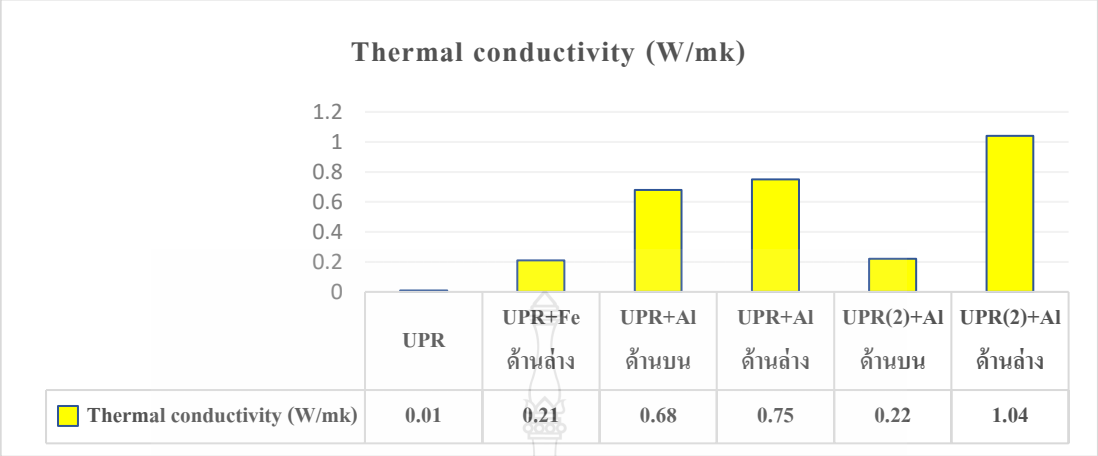
รูปที่ 4.7 ผงคาร์บอนแบล็ค (Carbon black Powder) ผ่านกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า

รูปที่ 4.8 ผงเหล็ก (Ferro Powder) ผ่านกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 50 เท่า

4.4 การทดสอบการนำความร้อน

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าการนำความร้อน

samples	Condition Used				Average	S.D.
	Output of power (W)	Measuring Time (s)	Thermal Properties	Measurement Results		
1. .UPR/ผงเหล็ก (ด้านบน)	-	-	-	-	-	-
1.UPR/ผงเหล็ก (ด้านล่าง)	0.01	20	Thermal Conductivity (W/m K)	0.2096 0.2101 0.2106	0.2101	0.0005
2.UPR/ผงอลูมิเนียม (ด้านบน)	0.02	10	Thermal Conductivity (W/m K)	0.0628 0.6864 0.6896	0.6896	0.0032
3.UPR/ผงอลูมิเนียม (ด้านล่าง)	0.02	10	Thermal Conductivity (W/m K)	0.7580 0.7573 0.7553	0.7569	0.0014
4.UPR-2 ผงอลูมิเนียม (ด้านบน)	0.01	20	Thermal Conductivity (W/m K)	0.2267 0.2287 0.2287	0.2280	0.0012
5.UPR-2 ผงอลูมิเนียม (ด้านล่าง)	0.05	2	Thermal Conductivity (W/m K)	1.0480 1.0430 1.0450	1.0453	0.0025



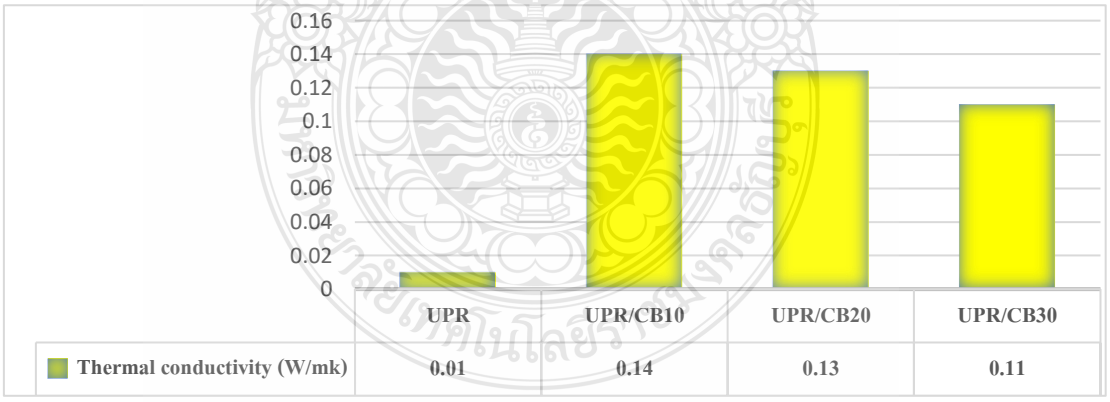
ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงค่าการทดสอบค่าการนำความร้อนของ วัสดุผสม

หมายเหตุ : UPR/ผงเหล็ก (ด้านบน) ไม่สามารถวัดค่าการนำความร้อน เนื่องจากชิ้นงานไม่สมบูรณ์ มีความขรุขระ ทำให้ไม่สามารถวัดค่าการนำความร้อนได้

จากตารางที่ 4.6 พบว่าค่าการนำความร้อนของทั้ง 2 UPR และตัวผงโลหะทั้ง 2 ชนิดมีค่าการนำความร้อนที่แตกต่างกัน โดย UPR ตัวแรกมีคุณสมบัติการทนความร้อนได้น้อยกว่า UPR ตัวที่ 2 และผงที่เติมลงไปในทั้ง 2 UPR มีลักษณะเหมือนกันและปริมาณที่ใส่ใน UPR เท่า โดยผงเหล็กมีค่าการนำความร้อนที่น้อยกว่าผงอลูมิเนียมจะพบได้กว่าชิ้นที่เติมผงอลูมิเนียมเข้าไปนั้นจะมีค่าการนำความนำร้อนที่ดีกว่าผงเหล็กทั้ง 2 UPR แต่ค่านำความร้อนได้วัดค่ามาทั้ง 2 ด้านของชิ้นจะพบได้ว่าด้านบนมีการกระจายตัวของผงโลหะที่น้อยกว่าด้านล่าง เพราะพบได้ว่ามีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าด้านล่างที่มีการกระจายตัวของผงโลหะที่ดีกว่าทำให้มีค่าการนำความร้อนที่ดีกว่าด้านบนเพราะมีปริมาณของผงโลหะมากและมีการกระจายตัวที่ดีกว่า

ตารางที่ 4.7 ตารางเปรียบเทียบแสดงค่าการนำความร้อน ของ UPR เติมผงคาร์บอนแบล็ค

Sample UPR/CB	Condition use Output power (W)	Condition use Measuring Time (S)	Thermal Properties	Measurement Results	Average	S.D.
1.100/0	0.02	160	Thermal Conductivity (W/m K)	0.1049 0.0992 0.0978	0.1006	0.0038
2.90/10	0.02	160	Thermal Conductivity (W/m K)	0.1473 0.1488 0.1455	0.1472	0.0017
3.70/30	0.02	160	Thermal Conductivity (W/m K)	0.1162 0.1127 0.1141	0.1143	0.0018
4.80/20	0.02	160	Thermal Conductivity (W/m K)	0.1388 0.1294 0.1353	0.1345	0.0048



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่าการทดสอบค่าการนำความร้อนของ วัสดุผสม UPR+CB

จากตารางที่ 4.7 จะพบว่าค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบจากชิ้นงานที่ไม่ได้เติมผงเขม่าดำ การทดสอบโดยใช้สูตร 100/0 90/10 70/30 80/20 มีค่าการนำความร้อนที่ 0.1006, 0.1472, 0.1143, 0.1345 (W/m K) ตามลำดับ

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลที่ได้รับจากการทำโครงงาน

5.1.1 การศึกษาสมบัติการนำความร้อนของ UPR ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการเติมวัสดุผงที่ปรับปรุงคุณสมบัติทั้ง 3 ชนิดในการหล่อชิ้นงานทดสอบนั้น ผลที่ได้คือค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ไม่เติมวัสดุผงเข้าไป แต่ยังไม่สามารถทำการหล่อแม่พิมพ์ที่ใช้ในงานโรโตโมลได้เพราะค่าการนำความร้อนไม่มากพอ

5.1.2 การสมบัติเชิงกลและกายภายภาพจากชิ้นงานทดสอบของ UPR ที่ผสมผงคาร์บอนแบล็ค พบว่าคุณสมบัติความแข็งทั้ง 2 ด้านมีค่าไม่เท่ากัน ด้านที่มีการกระจายตัวของวัสดุผงที่น้อยค่าความแข็งจะลดลงจากด้านที่มีกระจายตัวของวัสดุผงที่มากจะมีการความแข็งที่มากตามกัน เพราะวัสดุผงจะอยู่ในจุดเดียวที่ทำการหล่อเทชิ้นงานและชิ้นงานมีอัตราการการดูดซึมน้ำมากขึ้น เมื่อเทียบกับชิ้นงานทดสอบที่ไม่ได้เติมผงโลหะ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ถ้าหากต้องเพิ่มค่าการนำความร้อนแนะนำว่าควรใส่ผงอลูมิเนียม (Aluminium) เนื่องจากผลการทดสอบพบว่าชิ้นงานนั้นมีค่าการนำความร้อนมากว่าผงเหล็ก (Ferro Powder) และผงคาร์บอนแบล็ค (Carbon Black Powder) ทั้ง 2 ด้านของชิ้นงาน

5.2.2 ถ้าหากเติมผงที่มากกว่า 50% ขึ้นไปจะมีกระจายตัวของวัสดุผงที่ดี จะมีค่าการนำความร้อนที่มากขึ้นกว่าเดิม แต่จะทำการหล่อแม่พิมพ์ที่ยากกว่า

5.2.3 ควรศึกษาและทำความเข้าใจขั้นตอนการหล่อเรซิ่นเทคนิคต่างๆ ซึ่งมีความจำเป็นในการหล่อชิ้นงานทดสอบ

5.2.4 ควรหาวิธีดูการกระจายตัวของวัสดุผงและ UPR เมื่อผสมกันและเมื่อหล่อขึ้นรูปแล้ว

บรรณานุกรม

[1] เทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติงพลาสติก, , [ออนไลน์]: เข้าถึงได้จาก :
https://www.clmpackaging.com/l สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2565]

[2] วิกิพีเดีย สารานุกรเสรี . พอลิเอสเทอร์ , [ออนไลน์]
https://th.wikipedia.org/8C [สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2565]

[3] สมจิตต ตั้งชัยวัฒนา . พอลิเอสเทอร เรซินชนิดไม่อิ่มตัว, [ออนไลน์]:
https://readgur.com/doc/%A7 [สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2565]

[4] เอสเอ สนิธุพันธ์ เทรดดอิ้ง. โพลีเอสเทอร์เรซิน, [ออนไลน์]:
https://resinsjthailand.comB8%A3/ [สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2565]

[5] ผงอลูมิเนียม [ออนไลน์]: เข้าถึงได้จาก :
https://sathai.com/A1/ [สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2565]

[6] ผงเหล็ก [ออนไลน์]: เข้าถึงได้จาก :
https://www.toolmakers.co/powder-metallurgy/ [สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2565]

[7] วกิพีเดีย สารานุกรเสรี. การนำความร้อน [ออนไลน์]: เข้าถึงได้จาก
https://th.wikipedia.org/99 [สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2565]

[8] การนำความร้อน [ออนไลน์]: เข้าถึงได้จาก
http://www.digitalschool.club/digitalschool/science1_2_2/science3_2/page_03.php
[สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2565]

[9] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) .การถ่ายโอนความร้อน [ออนไลน์]:
เข้าถึงได้จาก
https://www.scimath.org/lesson-science/item/7107-2017-06-04-06-30-35
[สืบค้นเมื่อ 25 สิงหาคม 2565]

[10] ปิตุพร พิมพาเพชร. การนำความร้อนของวัสดุ [ออนไลน์]: เข้าถึงได้จาก
https://www.trueplookpanya.com/learning/detail/33331

[11] การถ่ายโอนความร้อน หรือ การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) . [ออนไลน์]: เข้าถึงได้จาก
https://www.2pt3q.com/heat-transfer/ [สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2565]

บรรณานุกรม (ต่อ)

[12] กระบวนการขึ้นรูปแบบหมุน. [ออนไลน์]: เข้าถึงได้จาก

http://eng.sut.ac.th/pdf [สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2565]

[13] การทดสอบความร้อนของวัสดุ : เข้าถึงได้จาก

https://www.labaratuar.com/th/testler/malzeme/malzeme-termal-test/

[สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2565]

[14] การวัดความแข็ง . [ออนไลน์]: เข้าถึงได้จาก

http://personal.sut.ac.th/heattreatment/context/Measurement_Of_Hardness.html

[15] การทดสอบความแข็งของวัสดุ [ออนไลน์]: เข้าถึงได้จาก

https://www.aballtechno.com/-hardness-tester

[สืบค้นเมื่อ 15 ตุลาคม 2565]

[16] รศ.ดร.จตุพร วุฒิกนกกาญจน์ คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ (มจธ.) การทดสอบสมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ [ออนไลน์]: เข้าถึงได้จาก

https://seem.kmutt.ac.th/r.pdf

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดสอบ

ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงานทดสอบ (Carbon black Powder)

สูตร / ชั่วโมง	UPR (%)	UPR+10% (%)	UPR+20% (%)	UPR+30% (%)
1	0.02	0.11	0.09	2.56
2	0.07	0.14	0.12	3.29
3	0.07	0.14	0.12	3.86
4	0.07	0.17	0.15	4.59
5	0.07	0.17	0.15	5.02
6	0.07	0.17	0.15	5.02

ค่าการดูดซึมน้ำของชิ้นงาน

สูตร / ชั่วโมง	UPR+50% (Aluminum)	UPR+50% (Ferro Powder)	UPR(2)+50% (Aluminum)
1	3.19	2.56	3.19
2	3.29	3.30	3.30
3	3.86	3.75	3.86
4	4.59	3.98	4.58
5	5.02	5.04	5.02
6	5.02	5.04	5.02

ค่าการทดสอบความแข็งของ UPR กับ Carbon blank ในอัตราส่วนต่างๆ

UPR/Carbon black	ค่าความแข็ง HRL
100/0	91.16+-2.61
90/10	87.45+-3.30
80/20	71.78+-3.19
70/30	62.82+-3.14

ค่าผลการทดสอบความแข็งของ UPR กับ ผงโลหะทั้ง 2 ประเภท ในอัตราส่วน 50 ต่อ 50

samples	**ค่าความแข็ง HRL**
UPR/ผงเหล็ก (ด้านบน) อัตราส่วน 50/50	100.06
UPR/ผงเหล็ก (ด้านล่าง) อัตราส่วน 50/50	78.03
UPR/ผงอลูมิเนียม(ด้านบน) อัตราส่วน 50/50	92.92
UPR/ผงอลูมิเนียม(ด้านล่าง) อัตราส่วน 50/50	92.92
UPR-2 /ผงอลูมิเนียม(ด้านบน)อัตราส่วน 50/50	90.92
UPR-2 /ผงอลูมิเนียม(ด้านล่าง)อัตราส่วน 50/50	92.92

ค่าผล size and circularity average

Materials	Size average (micron)	Circularity average
ผงอลูมิเนียม (Aluminium)	29	0.7
ผงเขม่าดำ (Carbon black)	171	0.6
ผงเหล็ก (Ferro Powder)	936	0.1

ค่าการทดสอบการนำความร้อน

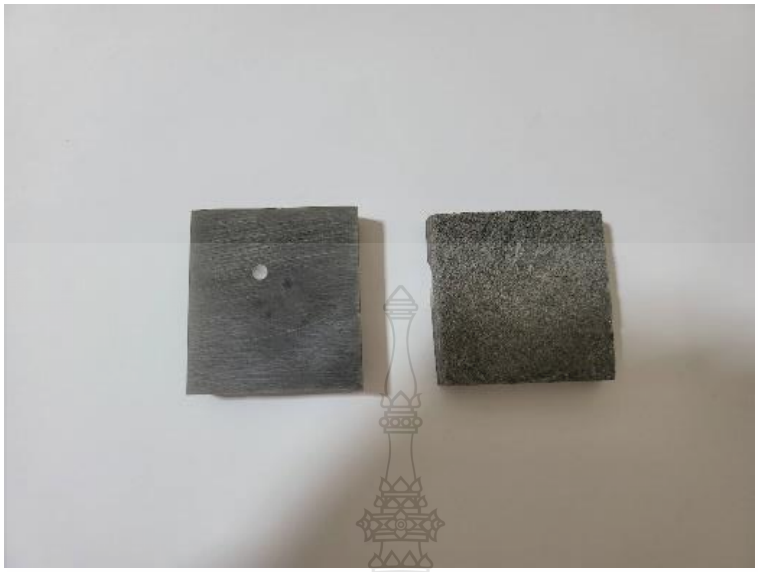
samples	Condition Used			Measurement Results	Average	S.D.
	Output of power (W)	Measuring Time (s)	Thermal Properties			
1.UPR/ผงเหล็ก (ด้านล่าง)	0.01	20	Thermal Conductivity (W/m K)	0.2096 0.2101 0.2106	0.2101	0.0005
2.UPR/ผงอลูมิเนียม (ด้านบน)	0.02	10	Thermal Conductivity (W/m K)	0.0628 0.6864 0.6896	0.6896	0.0032
3.UPR/ผงอลูมิเนียม (ด้านล่าง)	0.02	10	Thermal Conductivity (W/m K)	0.7580 0.7573 0.7553	0.7569	0.0014
4.UPR-2 ผงอลูมิเนียม (ด้านบน)	0.01	20	Thermal Conductivity (W/m K)	0.2267 0.2287 0.2287	0.2280	0.0012
5.UPR-2 ผงอลูมิเนียม (ด้านล่าง)	0.05	2	Thermal Conductivity (W/m K)	1.0480 1.0430 1.0450	1.0453	0.0025

ตารางเปรียบเทียบแสดงค่าการนำความร้อน ของ UPR เติมผงเขม่าดำลงไปใน UPR

Sample UPR/CB	Condition use Output power (W)	Measuring Time (S)	Thermal Properties	Measurement Results	Average	S.D.
1.100/0	0.02	160	Thermal Conductivity (W/m K)	0.1049 0.0992 0.0978	0.1006	0.0038
2.90/10	0.02	160	Thermal Conductivity (W/m K)	0.1473 0.1488 0.1455	0.1472	0.0017
3.70/30	0.02	160	Thermal Conductivity (W/m K)	0.1162 0.1127 0.1141	0.1143	0.0018
4.80/20	0.02	160	Thermal Conductivity (W/m K)	0.1388 0.1294 0.1353	0.1345	0.0048

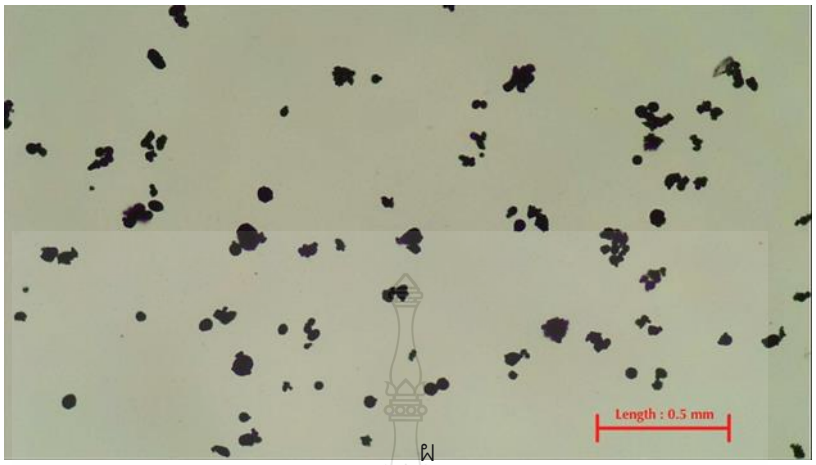
ภาคผนวก ข

รูปชิ้นงานทดสอบ



รูปชิ้นงาน UPR+ผงเหล็ก อัตราส่วน 50/50

รูปชิ้นงาน UPR+ผงอลูมิเนียม 50/50



ผ

งอลูมิเนียม (Aluminium)

ผงเขม่าดำ (Carbon black)

ผงเหล็ก (Ferro Powder)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายกรกฤษ เชื้อชัยนาท
วัน เดือน ปี	18 ธันวาคม 2534
ที่อยู่	39/21 หมู่บ้าน Kin หทัยราษฎร์ 37 แขวงสามวาตะวันตก เขตคลองสามวา กรุงเทพมหานคร 10510
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	ผู้จัดการฝ่ายเทคนิค บริษัท ไทยเทคโค๊ตติ้ง กรุ๊ป จำกัด พ.ศ. 2559 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	084-656-5260
อีเมล์	korarit.ttcg@hotmail.com