

การศึกษาการใช้ผงแก้วจากขวดรีไซเคิลเสริมแรง
ในอีพอกซีเรซินสำหรับสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยความร้อน
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ศุภเอก ประมูลมาก, อนินท์ มีมนต์
Supaaek Pramoonmak, and anin memon

Abstract

The objective of this paper is to study the use of glass powder from recycled bottles reinforced with epoxy resin. In the beginning to study the process and working principle of the heat forming in thermoforming mold and build a master model from super lean cubes. The cast resin into a thermoforming mold with breaking the cleaned glass bottles and breaking or crushed into small pieces to use as a mixture of the master model. The cast mold of epoxy resin mixed with glass, ratio 50:50, 60:40 and 70:30 to create a master model to put in a block made of aluminum sheet. Finally, produce the plastic container by vacuum from the mold master model.

The results of research that the structural inspection of molded specimens show that there are bubbles spread between the epoxy resin and the glass powder in the mold. Various ratios in which the distribution of the glass powder and air bubbles affects the hardness of the workpiece. The molds using a mixture ratio of epoxy resin and glass powder at 60:40 will have a hardness that is consistent. In each layer, the depth will have a maximum hardness at 67.54 HRB. After that, the mold using the ratio of epoxy resin and glass powder at 50:50 60:40 and 70:30 will be molded to make PET plastic at temperature of Forming between 120 - 140 degrees Celsius. The result of research, found that all 3 thicknesses at 130 degree celsius have a slightly

higher density than other temperatures and when testing the expansion of the mold, it is found that the mold with the mixtures ratio of epoxy resin and powder glass at 50:50 is suitable to be used the most Due to the lowest growth from all With the highest expansion at 0.31% width and the maximum expansion between holes is 0.21%

Keywords: Thermoforming mold, Epoxy resin, Maximum hardness

บทนำ

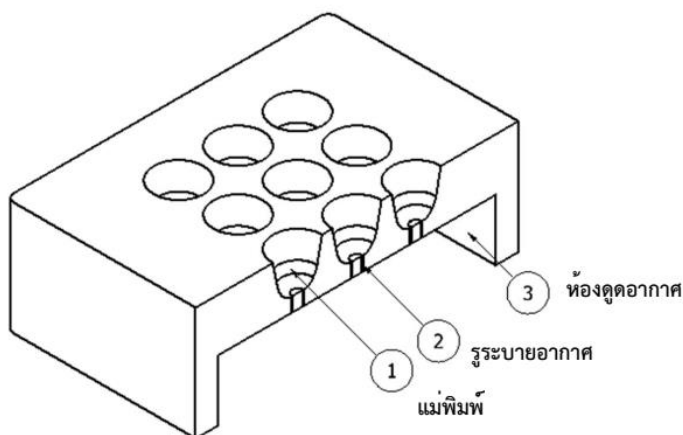
แก้วเป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่มีนิยมนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุสินค้า โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหาร เครื่องดื่มและยาต่างๆ เช่น น้ำอัดลม เบียร์ ยาน้ำ เป็นต้น แก้วมีสมบัติแข็งโปร่งใส ไม่เกิดปฏิกิริยากับอาหารและยา อีกทั้งสามารถขึ้นรูปให้มีความหลากหลาย และสามารถนำกลับมาหลอมรีไซเคิลได้ใหม่หลายครั้งโดยสมบัติไม่เปลี่ยนไปจากเดิม [1] ประเภทของแก้ว แบ่งออกตามองค์ประกอบแบ่งได้เป็น แก้วโซดาไลม์ แก้วโบโรซิลิเกต แก้วตะกั่วหรือแก้วคริสตัล และแก้วชนิดพิเศษอื่นๆ แก้วที่พบกันทั่วไปมากกว่าร้อยละ 90 คือแก้วโซดาไลม์ที่ใช้ในการทำกระจก ขวดน้ำ จานชาม เป็นต้น และเมื่อใช้งานแล้วบางส่วนของแก้วที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์จะถูกกลับนำมาใช้ใหม่ สำหรับส่วนที่เสียหายจะถูกนำไปหลอมและขึ้นรูปใหม่ในกระบวนการรีไซเคิล สำหรับประเทศไทยการนำเอาแก้วที่เสียจากกระบวนการผลิตและการใช้กลับมาใช้ใหม่พบว่ายังน้อยอยู่ ขณะที่ต่างประเทศมีการนำเอาเศษแก้วกลับมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การใช้เป็นตัวกรองที่ผสมในคอนกรีต วัสดุขัดสี ใช้เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิในเซรามิก ใช้ในการทำโฟมกลาส เป็นต้น [2]

พลาสติกได้ถูกนำมาใช้อย่างมากในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นอยู่ในรูปแบบเครื่องใช้ภายในบ้าน ยานยนต์ วัสดุทางการแพทย์ ใช้ในการบรรจุอาหาร เป็นต้น การนำเอาพลาสติกมาใช้งานมีหลายรูปแบบ เช่น การฉีด การเป่า การอัดรีด และการขึ้นรูปด้วยความร้อน เป็นต้น หัวใจหลักของการผลิตขึ้นส่วนพลาสติกคือแม่พิมพ์ การทำแม่พิมพ์มีต้นทุนสูง และต้องใช้เทคนิคขั้นสูงในการผลิต [3] ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ใช้กันมากคือผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุอาหาร เช่น กล่องพลาสติกแบบหลุม หรือถาดพลาสติก ซึ่งขึ้นรูปด้วยกระบวนการความร้อน โดยจะขึ้นรูปพลาสติกในขณะที่พลาสติกอ่อนตัวที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ทำให้พลาสติกยึดออก

ภายใต้แรงดันสุญญากาศ [4] แม่พิมพ์ชนิดนี้ส่วนใหญ่ทำจากโลหะประเภทเหล็กและอลูมิเนียม และสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งถ้าแม่พิมพ์ทำมาจากโลหะจะทำให้ต้นทุนในการปรับเปลี่ยนแม่พิมพ์สูง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะสร้างแม่พิมพ์โดยใช้ อีพอกซีเรซินเติมผงแก้ว เพื่อที่จะลดต้นทุนของวัสดุให้ต่ำลง โดยการนำเศษแก้วที่ได้จากการรีไซเคิลมาผสมด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสม

วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาถึงกระบวนการและหลักการทำงานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยความร้อนเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิจัย พบว่าแม่พิมพ์เทอร์โมฟอร์มมิ่งมีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วน ได้แก่ แม่พิมพ์ ฐานบดยาอากาศ และห้องดูดอากาศ



ภาพที่ 1 แม่พิมพ์เทอร์โมฟอร์มมิ่ง

3. การสร้างมาสเตอร์โมเดลจะทำการนำก้อนซูเปอร์ลีน (Superlene Nylon 6) มาตัดเฉือนด้วยกระบวนการแมชชีนเป็นมาสเตอร์โมเดล



ภาพที่ 2 แผ่นซูเปอร์ลีน

3. ทำการหล่อเรซินเพื่อเป็นแม่พิมพ์เทอร์โมฟอร์มมิ่ง โดยนำขวดแก้วที่ทำความสะดวกไปทุบให้แตก หรือบดย่อยให้เป็นเศษเล็กๆให้มีขนาด 200 เมช เพื่อใช้เป็นส่วนผสมของมาสเตอร์โมเดล จากนั้นนำอีพอกซี A และ B รวมทั้งผงอลูมิเนียมตามอัตราส่วนที่ได้คำนวณไว้ เทลงภาชนะเพื่อคนให้ส่วนผสมเข้ากันก่อนเทลงเข้าหล่อ ก่อนที่จะเทส่วนผสมที่คนจนได้ที่ ต้องนำแว็กมาทาที่ผิวของชิ้นงาน เพื่อที่จะง่ายต่อการถอดแบบ

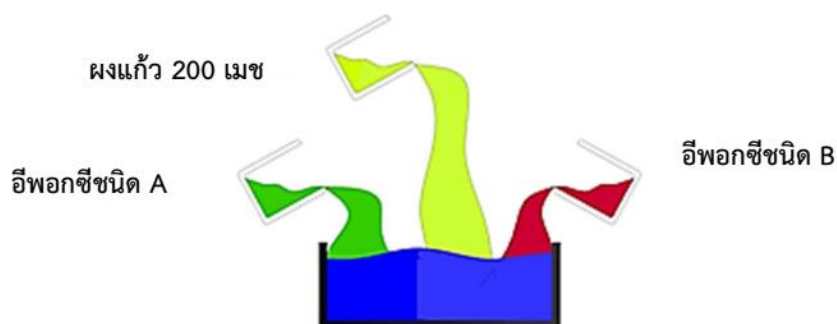


อีพอกซีเรซิน A



อีพอกซีเรซิน B

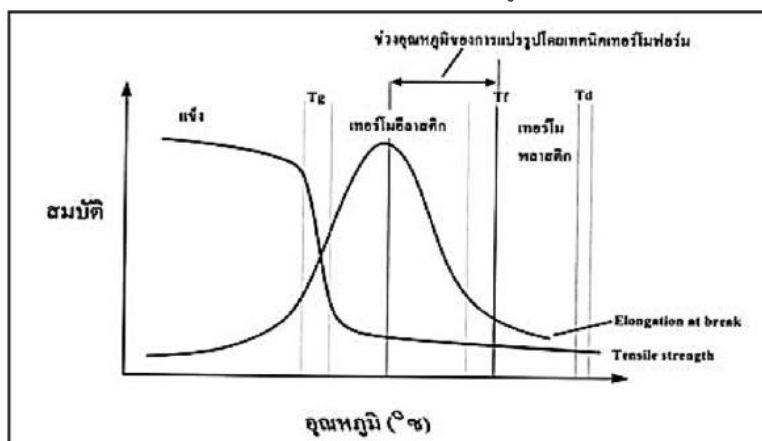
ภาพที่ 3 อีพอกซีเรซินที่ใช้ในการผสม



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการผสมผงแก้วกับอีพอกซีเรซิน

4. เทส่วนผสมลงในบ้ำหล่อที่มีโมเดลมาสเตอร์อยู่ตรงกลาง เมื่อแข็งตัวแล้วให้แกะเรซินและมาสเตอร์โมเดลออก จากนั้นนำเรซินที่หล่อเสร็จไปทำการแมชชีนตแต่งขนาดและเจาะรู

5. เลือกใช้อุณหภูมิ และเวลาในการขึ้นรูปแผ่นซีทพลาสติกชนิด PET อุณหภูมิการให้ความร้อนกับพลาสติกจะต้องกำหนดให้เหมาะสมกับชนิดของพลาสติก เพื่อให้พลาสติกอ่อนตัวซึ่งทำให้พอลิเมอร์อยู่ในช่วงของอุณหภูมิที่พอลิเมอร์จะเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) กับอุณหภูมิที่พอลิเมอร์เริ่มไหล (T_f) จากการศึกษาพบว่า การขึ้นรูปด้วยความร้อนระบบสุญญากาศ โดยใช้พลาสติก PET ช่วงอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 110 – 150 องศาเซลเซียส สำหรับช่วงเวลาในการให้ความร้อนจะขึ้นกับขนาดความหนาของพลาสติก สำหรับพลาสติกชนิด PET ที่ความหนา 0.3 มม. ช่วงเวลาให้ความร้อนอยู่ระหว่าง 20-30 วินาที



ภาพที่ 5 อุณหภูมิที่พอลิเมอร์จะเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วกับอุณหภูมิที่พอลิเมอร์เริ่มไหล
ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์และหล่อแม่พิมพ์อีพอกซีเรซินผสมแก้ว

1. นำก้อนซูเปอร์ลีนาขึ้นรูปเป็นมาสเตอร์โมเดล ด้วยเครื่องซีเอ็นซี ที่ความเร็วรอบ 6,000 รอบ อัตราป้อน 2000 มม.ต่อนาที ใช้ดอก End Mill ขนาด 5 มม. และ Ball Mill 2 มม.

2. นำขวดที่ผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดมาเข้าเครื่องบดย่อยแก้วให้เป็นเศษ จากนั้นนำเศษแก้วมาใส่เครื่องบด (Edge Runner) ครั้งละ 5 กิโลกรัม ใช้เวลาในการบดแก้ว 10-15 นาที จนได้ผงแก้ว นำผงแก้วที่ได้ไปร่อนผงโดยใช้ตะแกรงขนาด 200 เมช และนำผงที่ได้ใส่โหล



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการบดขูดแก้วด้วยเครื่อง Edge Runner

3. ทำการหล่อแม่พิมพ์อีพอกซีเรซินผสมแก้วโดยนำมาสเตอร์โมเดลมาใส่ในบล็อกที่ทำจากแผ่นอลูมิเนียมที่สามารถเปิดได้ทั้ง 4 ด้าน จากนั้นนำแก้วมาทาบบริเวณบ้ำหล่อและผิวของชิ้นงานที่เป็นมาสเตอร์โมเดลเพื่อให้ง่ายต่อการถอดแบบ จากนั้นชั่งสารแต่ละชนิดคือ อีพอกซีเรซิน A อีพอกซีเรซิน B และผงแก้ว โดยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างอีพอกซีเรซินผสมกับผงแก้วในอัตราส่วน 70:30 60:40 และ 50:50



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการหล่อแม่พิมพ์อีพอกซีเรซินผสมแก้ว

ตารางที่ 1 น้ำหนักส่วนผสมสำหรับการหล่อแม่พิมพ์อีพอกซีเรซินผสมผงแก้ว

อัตราส่วนผสม อีพอกซีเรซิน:ผงแก้ว	น้ำหนักของสารแต่ละชนิด (กรัม)		
	ผงแก้ว	อีพอกซีเรซิน A	อีพอกซีเรซิน B
70:30	273.2	318.8	318.8
60:40	364.4	273.2	273.2
50:50	455.4	227.8	227.8

4. ผสมส่วนผสมตามอัตราส่วนดังตารางที่ 1 เมื่อส่วนผสมทั้งหมดเข้ากัน ทำการเทลงบล็อกที่จัดเตรียมไว้ จากนั้นทิ้งแม่พิมพ์ให้อีพอกซีเรซินผสมแก้วเซตตัวโดยใช้เวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาถอดแบบออกจะทำให้ได้แม่พิมพ์ที่มีอัตราส่วนผสม 70:30 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ



ก. แม่พิมพ์อีพอกซีเรซินผสมผงแก้วอัตราส่วนผสม 70:30



ข. แม่พิมพ์อีพอกซีเรซินผสมผงแก้วอัตราส่วนผสม 60:40



ค. แม่พิมพ์อีพอกซีเรซินผสมผงแก้วอัตราส่วนผสม 50:50

ภาพที่ 7 แม่พิมพ์อีพอกซีเรซินที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

ขั้นตอนการขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนระบบสุญญากาศ

ผู้วิจัยใช้เครื่องขึ้นรูปด้วยความร้อนระบบสุญญากาศ รุ่น RS 58-68/120 ของ Huali มาใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติก โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปได้แก่ ความร้อนที่ใช้ในการขึ้นรูปให้อยู่ในช่วง 140-145 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาในการให้สุญญากาศ 20 – 30 วินาที และช่วงเวลาในการเป่าลมเย็น 10 - 20 วินาที จากนั้นจึงทำการประกอบแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องขึ้นรูป

2. การให้ความร้อนจะทำหลังจากยึดแผ่นพลาสติกติดกับเครื่องเป็นที่ยึดเรียบร้อยแล้ว เมื่อให้ความร้อนแก่แผ่นพลาสติกจนถึงเวลาที่กำหนดก็จะทำการแกะแผ่นพลาสติกออกมา จากนั้นปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวแล้วทำการเป่าลมให้แผ่นพลาสติกหลุดออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำชิ้นงานที่ได้มาทำการตัดแต่งบริเวณขอบของชิ้นงานให้เรียบร้อย



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการดูพลาสติกและการตัดชิ้นงานให้เรียบร้อย

3. การทดสอบชิ้นงานทำการออกแบบขนาดชิ้นงานโดยกำหนดความกว้าง ยาว และหนาของชิ้นงาน โดยกำหนดอยู่ที่มิติ 20x20x10 มม. จำนวนทดสอบ 4 ชิ้นมาทำการวัดทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงาน โดยใช้เครื่องวัดความแข็งแบบ HRB ขนาดหัวกด 1/4” น้ำหนักกด 60 กิโลกรัม

4. ทำการวัดความหนา และการขยายตัวของชิ้นงานโดยใช้ไมโครมิเตอร์ และไมโครมิเตอร์เป็นตัววัดเพื่อดูความหนาของชิ้นงานในแต่ละตำแหน่งว่ามีค่าความหนาสม่ำเสมอหรือไม่



ภาพที่ 9 การวัดความแข็งและความหนาของชิ้นงาน

ผลการวิจัย

1. ผลการตรวจโครงสร้างภายในจากการนำเอาชิ้นงานมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ด้วยกำลังขยาย 100 เท่า ที่ระดับความลึกของชิ้นงานทดสอบ 0(a), 10(b), 20(c), 30(c), และ 40(d) ม.ม. ตามลำดับ โดยได้ผลการทดสอบดังนี้

1.1 โครงสร้างชิ้นงานทดสอบอีพอกซีเรซินผสมผงแก้วอัตราส่วน 70:30 โครงสร้างจะมีอีพอกซีเรซินเป็นโครงสร้างหลัก ขณะที่ผงแก้วมีหลายรูปทรงสี่เหลี่ยม ออกเป็นสีขาว และฟองอากาศมีรูปร่างเป็นทรงกลมสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 10 ก.

1.2 โครงสร้างชิ้นงานทดสอบอีพอกซีเรซินผสมผงแก้วอัตราส่วน 60:40 โครงสร้างจะมีอีพอกซีเรซินเป็นโครงสร้างหลัก ผงแก้วมีรูปทรงสี่เหลี่ยม ออกเป็นสีขาว และมีฟองอากาศที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 10 ข.

1.3 โครงสร้างชิ้นงานทดสอบอีพอกซีเรซินผสมผงแก้วอัตราส่วน 50:50 โครงสร้างจะมีอีพอกซีเรซินเป็นโครงสร้างหลัก ขณะที่ผงแก้วมีหลายรูปทรงสี่เหลี่ยม ออกเป็นสีขาว และมีฟองอากาศมีรูปร่างเป็นทรงกลมสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 10 ค.



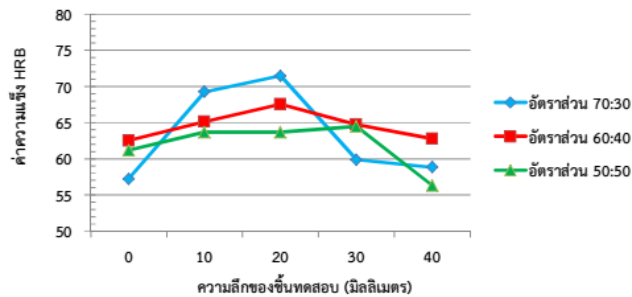
ก. อัตราส่วนผสมอีพอกซีเรซินกับผงแก้ว 70:30 ข. อัตราส่วนผสมอีพอกซีเรซินกับผงแก้ว 70:30



ค. อัตราส่วนผสมอีพอกซีเรซินกับผงแก้ว 70:30

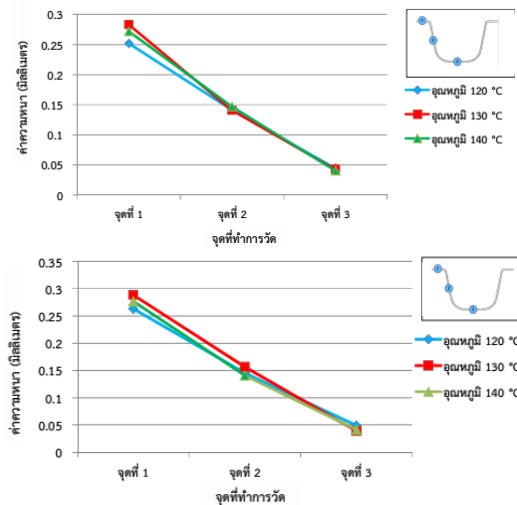
ภาพที่ 10 โครงสร้างของชั้นทดสอบที่ระดับความลึก 10 มม.

2. การวัดความแข็งแรงของแม่พิมพ์อีพอกซีเรซินผสมผงแก้ว พบว่าค่าความแข็งแรงของแม่พิมพ์มีค่าลดลงตามปริมาณผงแก้ว เนื่องจากพอลิเมอร์เมทริกซ์สามารถถ่ายแรงจากภายนอกไปตามความยาวของผงแก้วซึ่งทำให้สามารถรับแรงได้มากขึ้น ถ้าเติมผงแก้วเข้าไปในอัตราส่วนที่มากขึ้นจะทำให้การผสมระหว่างอีพอกซีเรซินกับผงแก้วผสมกันได้ยากมากขึ้น จึงทำให้เกิดช่องว่างหรือช่องอากาศขึ้นในโครงสร้างของชิ้นงาน นอกจากนี้อัตราส่วนผสมอีพอกซีเรซินกับผงแก้ว 70:30 มีค่าความแข็งแรงแตกต่างกันมากในแต่ละจุด หมายถึงถ้านำมาเอาชิ้นงานมาทำแม่พิมพ์จะทำให้แม่พิมพ์มีความแข็งแรงไม่สม่ำเสมอ ในขณะอัตราส่วนผสมอีพอกซีเรซินกับผงแก้ว 60:40 ค่าความแข็งแรงที่วัดได้แต่ละจุดมีค่าใกล้เคียงกัน ถ้านำมาเอาแม่พิมพ์ความแข็งแรงในแต่ละจุดจะไม่ค่อยแตกต่างกัน ในขณะที่อัตราส่วนผสมอีพอกซีเรซินกับผงแก้ว 50:50 ความแข็งแรงในแต่ละจุดจะไม่ค่อยแตกต่างกัน และมีค่าความแข็งแรงต่ำสุด

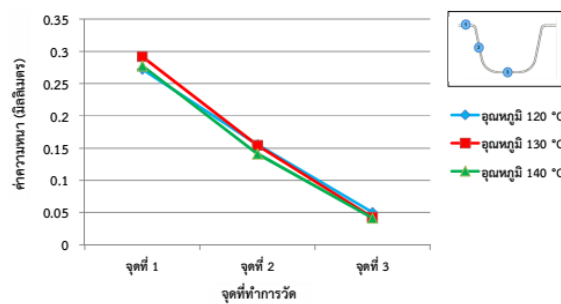


ภาพที่ 11 ค่าความแข็งในแต่ละชั้นความลึกของชิ้นงานทดสอบ

3. การวัดความหนาของชิ้นงาน 3 จุด เพื่อดูความสม่ำเสมอของความหนาชิ้นงานพบว่าที่อัตราส่วนผสมอีพอกซีเรซินกับผงแก้ว 50:50 มีค่าการวัดความหนาสม่ำเสมอมากกว่าอัตราส่วนผสมอื่น ดังแสดงในรูปที่ 12



ก.อัตราส่วนผสมอีพอกซีเรซินกับผงแก้ว 70:30 ข.อัตราส่วนผสมอีพอกซีเรซินกับผงแก้ว 60:40



ค.อัตราส่วนผสมอีพอกซีเรซินกับผงแก้ว 50:50

ภาพที่ 12 กราฟแสดงการวัดค่าความหนาของชิ้นงาน 3 จุด

การอภิปรายผลการวิจัย

1. จากผลจากการส่องกล้องดูโครงสร้างของชิ้นงานทดสอบอีพอกซีเรซินผสมผงแก้ว พบว่าอีพอกซีเรซินจะเป็นโครงสร้างหลัก โดยมีผงแก้วเป็นส่วนผสมในโครงสร้างร่วม ถ้าปริมาณผงแก้วที่ผสมกับอีพอกซีเรซินมากจะทำให้มีฟองอากาศเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น ส่วนผสมของผงแก้วมีผลต่อฟองอากาศที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของชิ้นงานทดสอบอีพอกซีเรซินผสมผงแก้ว

2. การแบ่งแยกระหว่างอีพอกซีเรซินกับผงแก้วในแม่พิมพ์อัตราส่วนต่างๆที่มีการกระจายตัวของผงแก้วกับฟองอากาศมีผลต่อค่าความแข็งของชิ้นงาน แม่พิมพ์ที่ทำจากอีพอกซีเรซินผสมผงแก้วที่อัตราส่วน 60:40 จะมีค่าความแข็งที่สม่ำเสมอที่สุดในแต่ละชั้นความลึก และมีค่าความแข็งสูงสุดเท่ากับ 67.54 HRB

3. การขึ้นรูปด้วยพลาสติกชนิด PET ที่ความหนา 0.3 มม. โดยใช้แม่พิมพ์ที่ทำมาจากอีพอกซีเรซินกับผงแก้ว ผลิตชิ้นงานขนาด 102X114X13 มม. จำนวนหลุม 12 หลุม มีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ 130 องศาเซลเซียส โดยที่อัตราส่วนผสมระหว่างอีพอกซีเรซินกับผงแก้วที่ 50:50 จะมีการขยายตัวน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.21% และค่าการขยายตัวสูงสุดมีอัตราส่วนผสมอยู่ที่ 70:30 อยู่ที่ 0.38%

เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญรักษ์ กาญจนวราณิชย์. (2552). กระเบื้องจากเศษแก้ว, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.mtech.or.th>.
- [2] วรณา ต.แสงจันทร์. การพัฒนาอิฐมวลเบาจากเศษแก้ว, กรมวิทยาศาสตร์บริการ (ม.ป.ป.).
- [3] ชัชพล ชังชู, และภรภัทร วรินรำไพ. (2549). การสร้างแม่พิมพ์ด้วยอีพอกซีเรซินเพิ่มเติม อลูมิเนียมสำหรับการฉีดพลาสติก วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] นายสิริชัย จีรวงศ์สุรณ. (2554). การศึกษาการชุบแข็งวัสดุโลหะที่ได้จากกระบวนการเติมเนื้อวัสดุ วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกลและสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

- [5] วันเฉลิม สัตระ และคณะ. (2553). การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปด้วยความร้อนโดยใช้แม่พิมพ์อีพอกซีเรซิน. ปรินูญานินพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [6] ประเสริฐ ชุมปัญญา. (2550). ปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปพลาสติกด้วยความร้อนระบบสุญญากาศ. ปรินูญานินพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.