บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3

Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology

การออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติก

Design of Plastic Forming Compression Machine

ประกอบ ชาติภุกต์, วรวุฒิ พิมพาพันธ์, ธนาพร จันฮวด และ พงศกร จันทร์ภิบาล

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: prakorb.c@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือ ส่วนของการอัดขึ้นรูปร้อน ส่วนที่สองคือการอัดหล่อเย็น โดยใช้แรงอัดจากระบบไฮดรอลิก ที่ความดันใช้งาน 200 บาร์ แท่งความร้อนคืออุปกรณ์สำคัญเป็นต้นกำเนิดของความร้อนมีขนาด 1,500 วัตต์ ยาว 350 มิลลิเมตร จำนวน 7 ตัว ฝังลงในแท่นอัดร้อน ซึ่งแท่นอัดร้อนติดตั้งอยู่ด้านบนและด้านล่างของแม่พิมพ์ ส่งผลให้แม่พิมพ์มีอุณหภูมิพร้อมใช้งานที่ 180 องศาเซลเซียส ภายใน 20 นาที ส่วนของการหล่อเย็นออกแบบให้หล่อเย็นด้วยน้ำและสามารถทำให้แม่พิมพ์ที่มีขนาด 350×500×300 มิลลิเมตร สามารถเย็นตัวลงมาอยู่ที่อุณหภูมิห้องได้ภายใน 23 นาที วัสดุสำคัญที่ใช้ป้องกันไม่ให้ความร้อนจากแท่งความร้อนส่งผ่านมายังโครงสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปคือแผ่นฉนวนเซรามิกไฟเบอร์บอร์ด ที่มีความหนาแน่น 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หนา 25 มิลลิเมตร ที่ต้องติดตั้งจำนวน 4 แผ่น ระหว่างแท่นความร้อนกับโครงสร้าง และระหว่างแท่นหล่อเย็นกับโครงสร้าง จากผลสำเร็จของออกแบบนี้สามารถนำไปสร้างเป็นเครื่องมือพื้นฐานในการทำวิจัยเกี่ยวกับพลาสติกคอมโพสิตในราคาที่ไม่สูงมากและลดการนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศได้

คำสำคัญ: เครื่องอัดขึ้นรูป, การขึ้นรูปพลาสติก

Abstract

This research aims to design plastic forming compression machine, consisting of two main parts: the first part is a hot compression. The second part is cooling compression. Both parts using hydraulic pressure at the working pressure of 200 bars. Heat rods are the main equipment as the generators of the heat of 1,500 W, length 350 mm and 7 of heat rods buried in hot compress. The compressor is mounted on the top and bottom of the mold. This results in a temperature of 180 °C within 20 minutes. Part of the cooling design with cooled with water and can make a mole with a size of 350×500×300 mm cool down to room temperature in 23 minutes. The material that is used to prevent heat from the heat bar is transmitted to the extrusion machine structure is a sheet of ceramic fiber insulation board with density 250 kg/m^3, thickness 25 mm. The need to install 4 sheets between the heat bar and structure machine and between cooling bar and structural machine. The success design of this design can be constructed as a basic machine to research on composite plastics at low cost and to reduce the imports of machinery from abroad.

Keywords: Compression Machine, Plastic Forming

1.บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันวัสดุศาสตร์นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งในงานด้านวิศวกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางด้านวัสดุที่เป็นพลาสติกมีความก้าวหน้าอย่างมาก พลาสติกเชิงประกอบถูกนำมาใช้งานทางวิศวกรรมมากมาย เกิดอุตสาหกรรมทางด้านเม็ดพลาสติกที่มีมูลค่าสูงในระดับโลกมีการวิจัยและพัฒนาวัสดุพลาสติกเพื่อใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย และพลาสติกเชิงประกอบถูกนำมาใช้งานทางวิศวกรรมมากมาย เกิดอุตสาหกรรมทางด้านเม็ดพลาสติกที่มีมูลค่าสูง ในระดับโลกมีการวิจัยและพัฒนาวัสดุพลาสติกเพื่อใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย [1]

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ศักยภาพด้านอุตสาหกรรมพลาสติก เช่น การผลิตเครื่องจักรขึ้นรูปพลาสติก การผลิตปิโตรเคมี การส่งออก และอุตสาหกรรมมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง การวิจัยและพัฒนาพลาสติกมีความก้าวหน้าไปมากแต่ก็ยังมีความต้องการอย่างต่อเนื่อง ในกระบวนการผลิตพลาสติกจะต้องเริ่มต้นจากเม็ดพลาสติกหรือพลาสติกคอมปาวด์ เข้าสู่กระบวนการแปรรูปและได้ผลิตภัณฑ์พลาสติก

กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกมีหลายประเภท เช่น การฉีดพลาสติก (Injection Molding Machine), การอัดรีดเป่าขึ้นรูป (Extrusion Blow Molding), การอัดขึ้นรูปร้อนในแม่พิมพ์ (Hot Compressed Molding), การถ่ายโอน (Transfer molding) การเป่า (Blowing) การขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming) การรีด (Calendaring) เป็นต้น [1] การจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์พลาสติกสำเร็จรูปต้องผ่านกระบวนการดังกล่าวภายใต้การให้ความร้อนที่พลาสติกต้องละลาย และที่สำคัญหลังจากการขึ้นรูปด้วยความร้อน พลาสติกจะเย็นตัวลงและเกิดการหดตัวจึง

จำเป็นต้องให้แรงกดอย่างสม่ำเสมอตลอดกระบวนการหล่อเย็น การอัดขึ้นรูปร้อนในแม่พิมพ์ (Hot Compressed Molding) เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญและเป็นกระบวนการแบบดั้งเดิมที่ใช้งานมาจนปัจจุบัน การออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนในแม่พิมพ์จะต้องมีส่วนการทำงาน 2 ส่วน คือ ส่วนการอัดให้ความร้อนที่มีความร้อนมาจากแท่งความร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิได้ ฝังอยู่ในแม่พิมพ์หรือในแท่นอัด และส่งผ่านความร้อนมายังตัวแม่พิมพ์และผ่านต่อไปยังเม็ดพลาสติกในแม่พิมพ์ ส่วนที่สอง คือ การหล่อเย็นซึ่งจะต้องให้เกิดการถ่ายเทความร้อนออกจากตัวแม่พิมพ์ภายใต้การอัดด้วยแรงขนาดเท่ากับในส่วนการอัดขึ้นรูปร้อน การถ่ายเทความร้อนจะอาศัยแท่นรองรับแม่พิมพ์น้ำหล่อเย็นไหลผ่าน นำเอาความร้อนออกไปจากแม่พิมพ์ และเมื่อแม่พิมพ์เย็นตัวลงจึงเข้าสู่กระบวนการอัดเพื่อเอาชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ในงานวิจัยนี้จึงเป็นการออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสสติกที่สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์

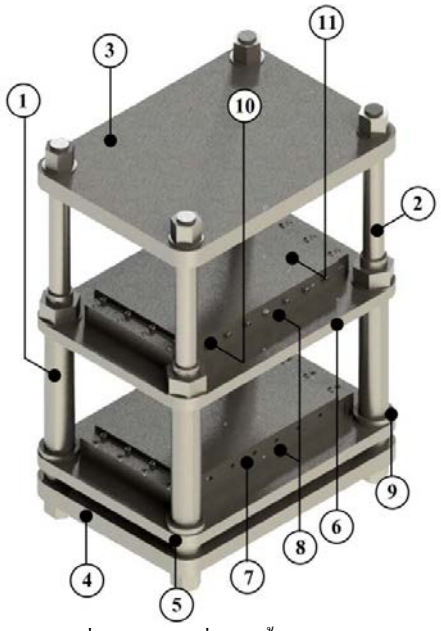
2.วิธีดำเนินการศึกษา

2.1 การออกแบบชิ้นส่วนและโครงสร้าง [2]

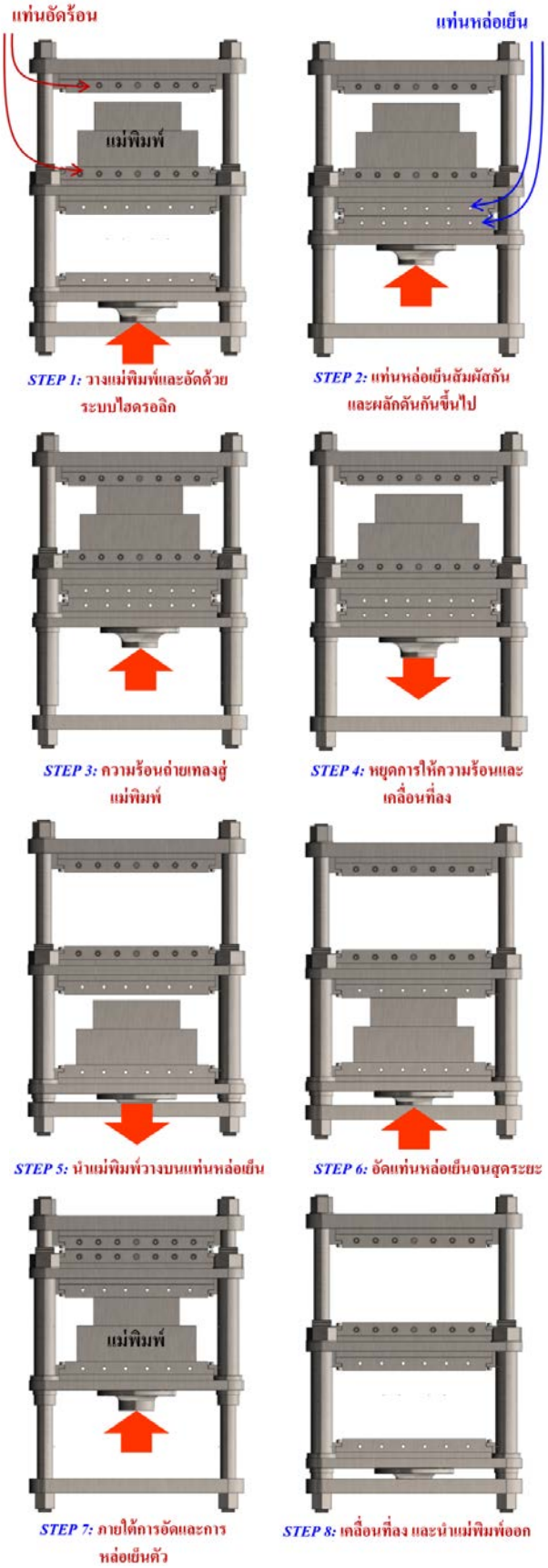
หลักการออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกต้องได้รับพิจารณาหลายด้าน เช่น วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้าง การเสียรูปของชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ กำลังของแท่งความร้อนและจำนวนเทียบกับอุณหภูมิและระยะเวลาที่ต้องการเริ่มใช้งาน ความสามารถในการหล่อเย็น ระยะกดของแม่พิมพ์ ขนาดแท่นอัดที่รองรับแม่พิมพ์พลาสติก เครื่องอัดที่ออกแบบมีขนาดกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 650×900×1320 มิลลิเมตร วัสดุที่เลือกใช้ทำแท่นอัดร้อนและแท่นอัดเย็นคือ AISI 52100 ชุบแข็งที่ 58-64 HRC และชิ้นส่วนอื่นๆ ทำจาก AISI 1045 โดยไม่ต้องชุบแข็ง แท่นอัดร้อนและเย็นมีขนาดกว้าง×ยาวเท่ากับ 600×400 มิลลิเมตร หนา 55 มิลลิเมตร สำหรับแท่นอัดร้อนฝังแท่งความร้อนตามแนวกว้าง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร จำนวน 7 แท่ง แต่ละแท่งห่างจากกัน 80 มิลลิเมตร สำหรับแท่นอัดเย็นจะเจาะรูเพื่อให้น้ำวิ่งผ่าน นำเอาความร้อนออกไปจากแม่พิมพ์ การป้องกันความร้อนจากแท่นอัดร้อนที่ส่งผ่านไปยังโครงสร้างนั้นได้รับการปกป้องจากแผ่นฉนวนเซรามิกไฟเบอร์บอร์ด ที่มีความหนาแน่น 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หนา 25 มิลลิเมตร ขนาดเท่ากับแท่นอัดร้อนและเย็น ที่ต้องติดตั้งจำนวน 4 แผ่น ระหว่างแท่นความร้อนกับโครงสร้างและระหว่างแท่นอัดเย็นกับโครงสร้าง ตัวเสาทำจากวัสดุ AISI 1045 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 มิลลิเมตร ยาว 1320 มิลลิเมตร การออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกดังรูปที่ 1 มีชิ้นส่วนประกอบดังนี้

หมายเลข 1 ปลอกเลื่อน (Movable Collar) จำนวน 4 ชิ้น สวมอยู่กับเสา ทำหน้าที่ประคองให้แท่นอัดร้อนและแท่นอัดเย็นเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง
หมายเลข 2 เสา (Column) จำนวน 4 ชิ้น ทำหน้าที่รับแรงดึงที่เกิดขึ้นในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนหรือกระบวนการหล่อเย็น
หมายเลข 3 แท่นโครงสร้างรองอัดตัวบนสุด (Upper Immovable Table)
หมายเลข 4 แท่นโครงสร้างรองอัดตัวล่างสุด (Lower Immovable Table)
หมายเลข 5 แท่นโครงสร้างรองอัดหล่อเย็น
หมายเลข 6 แท่นโครงสร้างรองอัดร้อนและอัดหล่อเย็น (Hot-Colling Table)
หมายเลข 7 แท่นอัดหล่อเย็น (Colling Table)
หมายเลข 8 แผ่นฉนวนเซรามิกไฟเบอร์บอร์ด (Ceramic Fiber Board)
หมายเลข 9 ปลอกอัดทองเหลือง (Bronze Bushing)
หมายเลข 10 แท่งความร้อน (Cartridge Heater)
หมายเลข 11 แท่นอัดร้อน (Hot Table)

รูปที่ 2 เป็นการออกแบบขั้นตอนการใช้งาน ประกอบด้วย 8 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1-3 เป็นการนำแม่พิมพ์เข้าสู่แท่นอัดร้อน โดยใช้ต้นกำลังจากระบบไฮดรอลิกอัดไปที่แท่นอัดเย็น แท่นอัดเย็นตัวล่างจะเคลื่อนที่ขึ้นมาดันกับแท่นอัดเย็นตัวบน ส่งผลให้แท่นอัดร้อนตัวล่างดันชุดแม่พิมพ์ขึ้นไปอัดกับแท่นอัดร้อนตัวบน ในกระบวนการนี้จะต้องให้ความร้อนและใช้กำลังจากระบบไฮดรอลิกอยู่ตลอดเวลา เป็นระยะเวลา 10 นาที พลาสติกในแม่พิมพ์จะหลอมเหลวจนหมด จากนั้นขั้นตอนที่ 4 คือการหยุดให้ความร้อนและก้านสูบไฮดรอลิกถอยกลับ ด้วยน้ำหนักของแท่นอัดและน้ำหนักแม่พิมพ์จะทำให้แท่นอัดเคลื่อนที่ลง เมื่อแท่นอัดเคลื่อนที่ลงสุดให้นำแม่พิมพ์วางลงในแท่นอัดเย็นดังขั้นตอนที่ 5 และขั้นตอนที่ 6 คือการใช้กำลังจากระบบไฮดรอลิก อัดแท่นอัดเย็นขึ้นไป ในขั้นตอนนี้จะปลอยให้น้ำไหลภายในแท่นอัดเย็น จะเห็นได้ว่าแม่พิมพ์และพลาสติกภายในจะเย็นตัวลงภายใต้การอัดตลอดเวลา ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดตามแม่พิมพ์ ในขั้นตอนที่ 7 คือการอัดและระบายความร้อนนานจนกว่าแม่พิมพ์จะเย็นตัวลงจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง และจากนั้นตัดระบบส่งกำลังอัดไฮดรอลิก แท่นอัดและแม่พิมพ์จะเคลื่อนที่ลง และนำไปอัดเอาผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์



รูปที่ 1 ต้นแบบเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติก



รูปที่ 2 ออกแบบขั้นตอนการใช้งาน

ในกระบวนการผลิตจำต้องใช้กระบวนการ CAD, CAM และ CAE ช่วย ซึ่ง CAD ได้เลือกใช้ SolidWorks ช่วยในการออกแบบ สำหรับกระบวนการผลิตต้องใช้ CAM เนื่องจากชิ้นส่วนเมื่อนำมาประกอบเข้าด้วยกันต้องได้ความเที่ยงตรงของขนาดในแต่ละด้าน แท่นโครงสร้างรองอัดตัวบนสุดและตัวล่างสุดต้องได้แนวร่วมศูนย์ของเสา เนื่องจากจะมีปลอกที่สวมและเคลื่อนที่อยู่กับตัวเสา อีกทั้งในขั้นตอนของการอัดแม่พิมพ์นั้น แท่นอัดร้อนตัวบนและล่าง หรือแท่นอัดเย็นตัวบนและล่างต้องมีระนาบขนานกันทั้งหมด ซึ่งจากการออกแบบนี้จะสามารถรองรับแม่พิมพ์ที่มีความสูงถึง 300 มิลลิเมตร

2.2 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ออกแบบและสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ของเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกด้วยโปรแกรม SolidWorks ดังรูปที่ 1 จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของโครงสร้าง พิจารณาการเสียรูป (Distortion) และความเค้นที่จุดคราก (Yield Stress) กำหนดการจับยึด (Constrain and Fixtures) ที่ฐานล่างหรือที่แท่นโครงร้างตัวล่างสุด ซึ่งเป็นแท่นที่ยึดอยู่กับกระบอกไฮดรอลิก และกำหนดแรงอัดกระทำลงไปที่แท่นอัดเย็นตัวล่างด้วยความดัน 200 บาร์ ชนิดของเอลิเมนต์ที่เลือกใช้คือ 10 nodes tetrahedral [2] ขนาดเฉลี่ย 20 มิลลิเมตร จำนวน 880,306 เอลิเมนต์ จำนวน 1,379,555โหนด การวิเคราะห์นี้ต้องกำหนดคู่สัมผัสระหว่างแต่ละชิ้นส่วนทั้งที่เป็นแบบ Bonded และ No Penetration สมบัติของวัสดุกำหนดตามตารางที่ 1

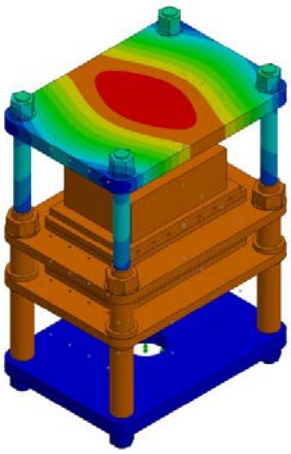
ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของวัสดุ [3]

Properties	แท่นอัดร้อนและเย็น	ชิ้นส่วนอื่นๆ
	AISI 52100	**AISI 1045**
Elastic Modulus	210 GPa	205 GPa
Poisson's Ratio	0.30	0.32
Shear Modulus	80 GPa	80 GPa
Mass Density	7810 kg/m^3	7850 kg/m^3
Tensile Strength	2240 MPa	1110 MPa
Yield Strength	2033 MPa	710 MPa
Hardness, Rockwell C	64 HRC	-

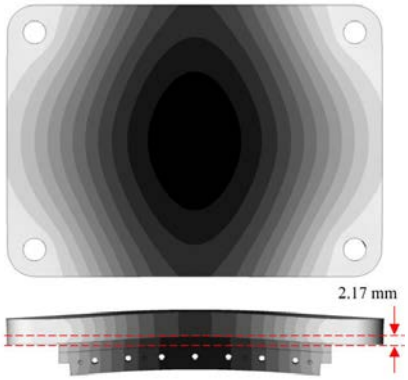
3. ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติก

จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ภายใต้ความดันอัด 200 บาร์ แสดงผลการจำลองการเสียรูปในรูปที่ 3 พบว่าโครงสร้างเกิดความเค้นมากที่สุดไม่เกินค่าความเค้นที่จุดคราก และอยู่ในช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่นเชิงเส้น ชิ้นส่วนสองชิ้นที่ได้รับการพิจารณาคือตัวเสา ที่อยู่ภายใต้แรงดึง และแผ่นโครงสร้างรองอัดตัวบนสุด ที่

เปรียบเสมือนเป็นคานรับแรงดัด เกิดระยะโก่งตัวมากที่สุดที่กึ่งกลางแผ่นเท่ากับ 2.17 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4 ค่าความเค้นสูงสุดยังไม่เกินค่าความเค้นที่จุดคราก ระยะโก่งนี้สามารถลดลงได้โดยการปรับค่าความหนาของแผ่นให้มีค่ามากกว่าเดิม



รูปที่ 3 ผลการจำลองการเสียรูปด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 4 ระยะและลักษณะการโก่งตัวของแท่นโครงสร้างรองอัดตัวบนสุด

4. สรุปผล

ชิ้นส่วนโครงสร้างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพลาสติกได้รับการออกแบบด้วยโปรแกรม SiolidWorks และได้รับการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation เครื่องอัดขึ้นรูปนี้มีการทำงานสองส่วนทั้งการอัดร้อนและการอัดเย็น (หล่อเย็นแม่พิมพ์) ในเครื่องเดียวกัน มีระยะการอัดสูงสุด 300 มิลลิเมตร จากการวิเคราะห์พบว่าเกิดค่าความเค้นสูงสุดที่กึ่งกลางแท่นโครงสร้างรองอัดตัวบนสุดเท่ากับ 2.17 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถทำการอัดแม่พิมพ์ใช้งานได้ที่ความดันอัด 200 บาร์ แท่นความร้อน แท่งความร้อนมีขนาด 1,500 วัตต์ ยาว 350 มิลลิเมตร จำนวน 7 ตัว ฝังลงในแท่นอัดร้อนบนและล่าง ส่งผลให้แม่พิมพ์มีอุณหภูมิพร้อมใช้งานที่ 180 องศาเซลเซียส ภายใน 20 นาที ส่วนของการหล่อเย็นออกแบบให้หล่อเย็นด้วยน้ำและสามารถทำให้แม่พิมพ์ที่มีขนาด 350×500×300 มิลลิเมตร สามารถเย็นตัวลงมาอยู่ที่อุณหภูมิห้องได้ภายใน 23 นาที

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] E.K. Orhorhoro, E.V. Atuma, A.S. Adeniyi, “Design and Fabrication of Compression Molding Machine for Plastic Waste Recycling in Nigeria,” *International Academic Journal of Innovative Research*, vol. 3, no. 11, pp. 1-20, 2016.

[2] V. Vorawit, S. Luangsod, P. Chartpuk, “Analysis of stress concentration that occurs in the reform with finite element method,” *RMUTP Research Journal*, vol. 5, no. 1, 2011.

[3] ประกอบ ชาติภุกต์, สราวุฒิ เปรมใจ, ทวีพงษ์ สุขมูลศิริ, ภาณุพงศ์ ศรีนุรักษ์ และ เดชาพล สุรินทร์, การออกแบบและสร้างโมลอัดขึ้นรูปสำหรับแผ่นเกราะเซรามิกส์กันกระสุน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 2, 19 พฤษภาคม 2560 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

ดร.ประกอบ ชาติภุกต์
อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
งานวิจัย: Finite Element Method, CFD, Nano-powder, Ceramic Materials, Tribology

นายวรวุฒิ พิมพาพันธ์
นักศึกษาปริญญาตรี
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร

น.ส.ธนาพร จันฮวด
นักศึกษาปริญญาตรี
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร

นายพงศกร จันทร์ภิบาล
นักศึกษาปริญญาตรี
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร