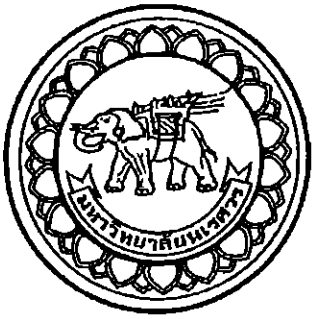


การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์เพื่อใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

DESIGN AND PRODUCTION OF COMPRESSION MOLDING TECHNIQUE

นางสาวประภัสสร อ่อนเพชร รหัส 50370653

นางสาวผกาวัลย์ หนูแก้ว รหัส 50370714

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 13 921909
เลขเรียกหนังสือ วร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ว338 ก 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์เพื่อใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวประภัสสร อ่อนเพชร รหัส 50370653
	นางสาวผกาวัลย์ หนูแก้ว รหัส 50370714
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น)

.....กรรมการ
(รศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน)

.....กรรมการ
(ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล)

.....กรรมการ
(อาจารย์ธนา บุญฤทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์เพื่อใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงาน
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวประภัสสร อ่อนเพชร รหัส 50370653
	นางสาวผกาวัลย์ หนูแก้ว รหัส 50370714
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

.....

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์เพื่อใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม Mastercam x4 (CAD/CAM) เพื่อช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ที่ใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูปชิ้นงานและเพื่อช่วยในการจำลองการทำงานของเครื่องกัดระบบซีเอ็นซี โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซีรุ่น Mazak FJV-250

การออกแบบแม่พิมพ์เพื่อใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) จะทำการออกแบบเป็นรูปที่รองแก้ว ส่วนแม่พิมพ์จะมีด้วยกันทั้งหมด 2 ชิ้น ซึ่งวัสดุที่ใช้คือ เป็นเหล็กแผ่น (P20) ขนาดของแม่พิมพ์ที่ใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) จะมีขนาดความกว้าง 200 มิลลิเมตร ความยาว 200 มิลลิเมตร เมื่อออกแบบเสร็จแล้วก็นำไปแปลงให้ได้ NC-code ออกมาแล้วจึงทำการกัดชิ้นงานจริงบนแผ่นเหล็ก จึงจะได้แม่พิมพ์ที่ใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) ตามแบบที่ออกแบบไว้ เมื่อนำแม่พิมพ์ที่ได้ไปใช้กับเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) โดยมีตัวช่วยปลดล็อคแม่พิมพ์เพื่อให้สะดวกต่อการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์แล้วได้ชิ้นงานที่รองแก้วออกมา

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะ อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน และอาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน ที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนะนำวิธีแก้ปัญหา รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ตลอดจนความดูแลเอาใจใส่ ติดตามการดำเนินโครงงานมาโดยตลอด และขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ ยังต้องขอขอบคุณ ทางสถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาค 3 ชลบุรี ณ ห้องปฏิบัติการซีเอ็นซี แผนกช่างกลโรงงาน ที่อำนวยความสะดวก ให้คำปรึกษา คำแนะนำ เกี่ยวกับการใช้เครื่องซีเอ็นซี และขอขอบคุณครูช่างทุกทานที่อำนวยความสะดวก ให้คำปรึกษา คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) เพื่อใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้ดำเนินโครงงานใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ให้การดูแล อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา ตลอดการดำเนินโครงงานจนสำเร็จการศึกษา

ผู้ดำเนินโครงงาน
ประภัสสร อ่อนเพชร
ผกาวัลย์ หนูแก้ว
พฤศจิกายน 2554

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน 1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ 2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 4
2.1 ทฤษฎีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ 4
2.2 ทฤษฎีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต 5
2.3 ทฤษฎีเครื่องจักรกล ซี.เอ็น.ซี 5
2.4 ทฤษฎีงานแม่พิมพ์พลาสติก 9
2.5 เหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติก 13
2.6 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ 15
2.7 พลาสติก 17
2.8 โปรแกรม Mastercam x4 19
2.9 ความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัย (Reliability) 22
2.10 ค่าความผิดพลาดขอองเครื่องมือ (Errors Measurement) 23
2.11 อัตราการยืดหดตัวจากการขึ้นรูปของพลาสติก 24
2.12 งานวิจัยอ้างอิง 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 28

3.1 ศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam x4 28

3.2 ศึกษาการใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 28

3.3 ทำการกัดแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี 28

3.4 ทดลองอัดแม่พิมพ์และปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์ 28

3.5 ทำการทดสอบและอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์จริง 28

3.6 วิเคราะห์และสรุปผล 29

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 30

4.1 แบบที่ได้จากการใช้โปรแกรม Mastercam x4 30

4.2 การแปลงโค้ดโดยการใช้โปรแกรม Mastercam x4 32

4.3 การใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 35

4.4 ทำการกัดแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี 35

4.5 ทดลองอัดแม่พิมพ์และปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์ 41

4.6 ผลการทดสอบและอัดขึ้นรูป 43

4.7 วิเคราะห์และสรุปผล 48

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 64

5.1 สรุปผล 64

5.2 ข้อเสนอแนะ 64

เอกสารอ้างอิง 66

ภาคผนวก ก 67

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ 2

2.1 เกรดมาตรฐานทั่วไปและส่วนผสม (ร้อยละ) ของเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์ 14

2.2 ค่าความแข็งของเหล็กทำแม่พิมพ์ 14

2.3 ร้อยละการหดตัว 25

2.4 สมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ 26

4.1 ขนาดแบบ 51

4.2 ขนาดแม่พิมพ์ 52

4.3 ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว 55

4.4 ค่าเฉลี่ยของแบบ 60

4.5 ค่าเฉลี่ยของแม่พิมพ์ 60

4.6 ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานที่รองแก้ว 60

4.7 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแบบเทียบกับแม่พิมพ์ 61

4.8 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแบบเทียบกับชิ้นงานที่รองแก้ว 61

4.9 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานที่รองแก้วเทียบกับแม่พิมพ์ 61

4.10 ร้อยละการหดตัว 62

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การใช้ CAD ในการออกแบบ 4

2.2 การใช้ CAM ในการสร้างรหัสจี (G-CODE) 5

2.3 รูปชุดควบคุมการทำงานต่าง ๆ 6

2.4 กลไกการเคลื่อนที่ 7

2.5 วงจรของกลไกการเคลื่อนที่ 7

2.6 แสดงชุดเปลี่ยนทูลอัตโนมัติ 8

2.7 แสดงชุดเปลี่ยนทูลอัตโนมัติเครื่องกัด 9

2.8 แม่พิมพ์อัด 10

2.9 แม่พิมพ์อัดฉีดและกระบวนการอัดฉีด 10

2.10 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์อัดและอัดฉีด 11

2.11 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) 11

2.12 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) 12

2.13 เพลทร้อนและเพลทเย็นของเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) 13

2.14 สวิตช์หลักของเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) 13

2.15 กระบวนการอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ 16

2.16 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ 16

2.17 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ 17

2.18 แม่พิมพ์แผ่นล่างก่อนการจำลอง 19

2.19 แม่พิมพ์แผ่นล่างตอนจำลองเส้นทางการเดิน 20

2.20 แม่พิมพ์แผ่นล่างตอนจำลองการเจาะรู 20

2.21 แม่พิมพ์แผ่นบนก่อนการจำลอง 21

2.22 แม่พิมพ์แผ่นบนตอนจำลองเส้นทางการเดิน 21

4.1 ขนาดของแม่พิมพ์แผ่นบน 30

4.2 ขนาดของแม่พิมพ์แผ่นล่าง 31

4.3 ขอบเขตของการกัดชิ้นงานแผ่นบน 32

4.4 NC-code ของแผ่นบน 33

4.5 ขอบเขตของการกัดชิ้นงานแผ่นล่าง 34

4.6 NC-code ของแผ่นล่าง 34

4.7 เครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 35

4.8 ชิ้นงานเหล็กแผ่น 35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.9 ชิ้นงานที่ถูกกัดปาดหน้าเรียบ 36
4.10 ชิ้นงานเหล็กแผ่นที่ถูกเจียรปาดหน้าเรียบ 36
4.11 การจับชิ้นงานเหล็กแผ่นเพื่อเตรียมกัด 36
4.12 การกัดขอบชิ้นงาน 37
4.13 การกัดแม่พิมพ์แผ่นบน 37
4.14 ตะไบเก็บขอบชิ้นงาน 38
4.15 แม่พิมพ์แผ่นบนที่กัดเสร็จ 38
4.16 การกัดขอบชิ้นงาน 39
4.17 การกัดแม่พิมพ์แผ่นล่าง 39
4.18 ตะไบเก็บขอบชิ้นงาน 39
4.19 แม่พิมพ์แผ่นล่างที่กัดเสร็จ 40
4.20 แม่พิมพ์กัดสำเร็จ 40
4.21 การประกอบแม่พิมพ์ 40
4.22 การทดสอบแม่พิมพ์ 41
4.23 การเจาะรูของแม่พิมพ์แผ่นบน 42
4.24 สกรูเกลียวหยาบ 42
4.25 การประกอบสกรูกับแม่พิมพ์แผ่นบน 42
4.26 การทำ Locater ตรงมุม 43
4.27 การประกอบแม่พิมพ์แผ่นล่างกับแม่พิมพ์แผ่นบนและน๊อต 43
4.28 เครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกบริษัท ภิรมย์โอหาร จำกัด 44
4.29 การวอร์มเครื่องพร้อมกับแม่พิมพ์ 44
4.30 เม็ดพลาสติก PP 45
4.31 ใส่เม็ดพลาสติกในแม่พิมพ์ 45
4.32 นำมาประกอบกัน 46
4.33 การอัดขึ้นรูปพลาสติก 46
4.34 นำแม่พิมพ์ใส่ใน plate เย็น 47
4.35 แม่พิมพ์ที่อัดเสร็จเรียบร้อยแล้วมาทำการปลดออก 47
4.36 แม่พิมพ์ที่ปลดออกมาแล้ว 48
4.37 ที่รองแก้ว 48
4.38 แม่พิมพ์สำเร็จรูป 49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.39 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง....49

4.40 ขนาดแบบแม่พิมพ์แผ่นบน.... 50

4.41 ขนาดแบบแม่พิมพ์แผ่นล่าง.... 50

4.42 ขนาดแม่พิมพ์แผ่นบน.... 51

4.43 ขนาดแม่พิมพ์แผ่นล่าง.... 52

4.44 ขนาดชิ้นงานที่รองแก้วขอบนอก.... 54

4.45 ขนาดชิ้นงานที่รองแก้วขอบใน.... 54

ก.1 แม่พิมพ์แผ่นบน.... 68

ก.2 แม่พิมพ์แผ่นล่าง.... 69

ก.3 สกรู.... 70

ก.4 รูปการใช้งานที่รองแก้ว.... 71

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ใช้กันโดยทั่วไปจะทำมาจากวัสดุต่างๆเช่น ดิน ยาง ไม้ เหล็ก โลหะ และพอลิเมอร์เป็นต้น แต่ผลิตภัณฑ์ที่หาซื้อได้ง่ายและราคาถูกกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากวัสดุประเภทอื่นคงจะเป็นพอลิเมอร์ เพราะพอลิเมอร์หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่าพลาสติกมีคุณสมบัติคือ เหนียว แข็งแรง ทนทาน น้ำหนักเบาเป็นต้น ซึ่งกว่าจะออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ใช้กันได้ก็จะต้องผ่านกระบวนการต่างๆในการผลิต ซึ่งกระบวนการในการผลิตพอลิเมอร์มีมากมายหลายกระบวนการ เช่น กระบวนการฉีด (Injection Molding) กระบวนการรีด (Extrusion Molding) กระบวนการเป่า (Blow Molding) และกระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) เป็นต้น สำหรับเทคนิคการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้มากที่สุดในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ เนื่องจากสามารถใช้ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์ได้ทั้งประเภทเทอร์โมเซ็ตติ้ง และเทอร์โมพลาสติก ซึ่งการทำงานจะต้องอาศัยหลักการอัดด้วยความดันที่อุณหภูมิสูง เพื่อให้พอลิเมอร์เกิดการไหลเข้าไปในแม่พิมพ์ตามรูปร่างที่ต้องการ

จากข้อมูลข้างต้นที่กล่าวมาทางผู้ดำเนินโครงงานจึงสนใจที่จะทำการการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์เพื่อใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูปเพื่อที่จะทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่รองแก้ว เพื่อจะใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนและใช้งานได้จริง ซึ่งผลิตมาจากพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติกชนิดพอลิพรอพีลีน (Polypropylene : PP) ผ่านกระบวนการอัดขึ้นรูปจากเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) ที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้ออกมาเป็นที่รองแก้วอย่างสมบูรณ์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อสร้างแม่พิมพ์ต้นแบบที่ใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์

1.2.2 เพื่อให้แม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นสามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่รองแก้วได้

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ได้แม่พิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานที่รองแก้วที่ใช้กับเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

1.3.2 ได้ตัวอย่างชิ้นงานที่รองแก้ว

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

แม่พิมพ์สำหรับเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่รองแก้วพลาสติกชนิดพอลิพรอพีลีน (Polypropylene : PP)

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ออกแบบแม่พิมพ์ที่ใช้กับเครื่อง Compression Molding รุ่น Hydraulic press 20 Tons : MGLP-20

1.5.2 สร้างแม่พิมพ์ด้วยเครื่องกัด CNC รุ่น Mazak FJV-250

1.5.3 ใช้เม็ดพลาสติกชนิดพอลิพรอพีลีน (Polypropylene : PP) ในการทดลองการอัดขึ้นรูป

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

1.6.1 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.2 สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาค 3 ชลบุรี ณ ห้องปฏิบัติการซีเอ็นซี แผนกช่างกลโรงงาน

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2554 ถึง วันที่ 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2554

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ม.ค 54	ก.พ 54	มี.ค 54	เม.ย 54	พ.ค 54	มิ.ย 54	ก.ค 54	ส.ค 54	ก.ย 54	ต.ค 54	พ.ย 54
1	ศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam x4											
2	ศึกษาการใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250											

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ม.ค 54	ก.พ 54	มี.ค 54	เม.ย 54	พ.ค 54	มิ.ย 54	ก.ค 54	ส.ค 54	ก.ย 54	ต.ค 54	พ.ย 54
3	ทำการกัดแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี											
4	ทดลองอัดแม่พิมพ์และปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์											
5	ทำการทดสอบและอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์จริง											
6	วิเคราะห์และสรุปผล											

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ทฤษฎีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ

CAD เป็นคำย่อของ Computer Aided Design ซึ่งแปลเป็นภาษาไทยว่าคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ เป็นการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการสร้างชิ้นส่วน (Part) ด้วยแบบจำลองทางเรขาคณิตวิศวกรเครื่องกลหรือวิศวกรออกแบบใช้ CAD Software ในการสร้างชิ้นส่วน หรือเรียกว่าแบบจำลอง (Model) และแบบจำลองนี้สามารถแสดงเป็นแบบ (Drawing) หรือไฟล์ข้อมูล CAD สำหรับการผลิตโดยการใช้ CAD Software เพื่อ

2.1.1 พัฒนาแบบจำลองชิ้นส่วนจากแบบที่ได้รับ

2.1.2 ประเมินและแก้ไขข้อมูล CAD ของชิ้นส่วนที่ออกแบบบนระบบ CAD เพื่อให้ยอมรับได้ในการผลิต

2.1.3 เปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนที่ออกแบบ เพื่อให้สามารถผลิตได้สิ่งนี้อาจรวมถึงการเพิ่มมุมสอบ (Draft angle) หรือพัฒนาแบบจำลองของชิ้นส่วนที่แตกต่างกันออกไป สำหรับขั้นตอนที่แตกต่างกันในกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน

2.1.4 ออกแบบอุปกรณ์จับยึดโพรงแบบ (Model cavity) ฐานแม่พิมพ์ (Mold base) หรือเครื่องมืออื่นๆ

การใช้ CAD ในการสร้างรูปร่างชิ้นส่วนสามารถทำได้ 3 ลักษณะ คือ ปริมาตรตัน (Solid) พื้นผิว (Surface) และโครงลวด (Wire frame) ซึ่งแต่ละแบบจะเหมาะกับงานเฉพาะอย่างดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 การใช้ CAD ในการออกแบบ
ที่มา: สมนึก บุญพาไสว (2552)

นอกจากการใช้ CAD ในการสร้างชิ้นส่วนแล้วปัจจุบัน CAD Software บางตัวยังสามารถใช้ในงานวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse engineering) ได้คุณภาพของพื้นผิวที่สร้างขึ้นมาจากซอฟต์แวร์

วิศวกรรมย้อนกลับส่วนมากขึ้นอยู่กับ 2 องค์ประกอบ คือ คุณภาพของแบบจำลองหรือส่วนประกอบที่นำมาสแกนและคุณภาพของข้อมูลเชิงตัวเลข บางครั้งในการทำงานจริงเราไม่สามารถได้แบบจำลองที่สมบูรณ์หรือคุณภาพของข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้ไม่ดี เนื่องจากชิ้นส่วนชำรุดหรือถูกทำลาย CAD Software บางตัวสามารถแก้ไขปัญหาพื้นผิวของแบบจำลองในบริเวณที่ชำรุดได้ หรืออาจแต่งเติมดัดแปลงให้ดีกว่าของเดิมที่สแกนมาได้

2.2 ทฤษฎีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต

CAM คือคำย่อของ Computer Aided Manufacturing แปลเป็นภาษาไทยว่า คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต เป็นการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการสร้างรหัสจี (G-code) เพื่อควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซีในการกัดขึ้นรูปชิ้นส่วน โดยใช้ข้อมูลทางรูปร่างจาก CAD ซึ่งจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยี IT CAM สามารถใช้ข้อมูลจาก CAD ในการกำหนดว่าจะใช้เครื่องจักรใดในการผลิต วัสดุชิ้นงานมีขนาดเท่าใด วางตำแหน่งอ้างอิงอย่างไร ใช้เครื่องมืออะไรในการตัดเฉือนจะใช้วิธีตัดเฉือนแบบไหนกี่ขั้นตอน รวมไปถึงการจำลองขั้นตอนการทำงานเพื่อดูเส้นทางการตัดเฉือนของเครื่องมือตัดเฉือน และตรวจสอบความผิดพลาดในการผลิตด้วยการพัฒนา CAM Software อย่างต่อเนื่อง ปัจจุบัน CAM Software ได้รับการพัฒนาให้ช่วยส่งเสริมการกัดหยาบได้รวดเร็วขึ้นและสามารถกัดละเอียดด้วยความเร็วสูงรวมถึงการกัด 5 แกน ดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 การใช้ CAM ในการสร้างรหัสจี (G-CODE)
ที่มา: สมนึก บุญพาไสว (2552)

2.3 ทฤษฎีเครื่องจักรกล ซี.เอ็น.ซี

ในปี ค.ศ. 1948 ที่สถาบัน M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) ได้ริเริ่มนำเอาระบบคอมพิวเตอร์มาควบคุมการทำงานของเครื่องจักรเพื่อวัตถุประสงค์ในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องบินซึ่งมีความละเอียดและซับซ้อนยากแก่การผลิต แต่ก่อนจะได้เครื่องจักรซีเอ็นซีนั้นได้พัฒนาเครื่องจักรเอ็นซี (NC) ขึ้นก่อน เครื่องจักรเอ็นซี (Numerical Control) เป็นเครื่องจักรที่ควบคุมด้วยชุดรหัสควบคุมซึ่งรหัสนี้ประกอบไปด้วยตัวเลขและตัวอักษรและรหัสอื่นๆ ประกอบกันเป็นชุดคำสั่งและ

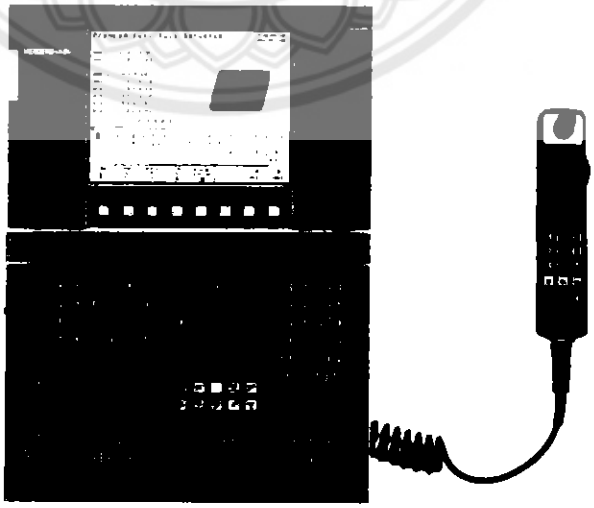
ชุดคำสั่งเหล่านี้จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อนำไปควบคุมชุดขับเคลื่อนมอเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ ในเครื่องจักร

2.3.1 คำนิยามของการควบคุมเชิงตัวเลข (Numerical Control)

เครื่องจักรที่ควบคุมด้วยตัวเลขเป็นเครื่องที่ทำงานตามโปรแกรมที่มีคำสั่งเชิงตัวเลขประกอบด้วยตัวเลขและตัวอักษรที่ป้อนผ่านหน่วยควบคุมอัตโนมัติ (Automatic control unit) ข้อกำหนดของชิ้นส่วน ซึ่งก็คือข้อมูลที่ปรากฏบนพิมพ์เขียวหรือแบบทางวิศวกรรมจะเริ่มพัฒนามาจากการแทนค่าในรูปของคณิตศาสตร์ จากนั้นทำเป็นข้อความทางคณิตศาสตร์บรรยายเส้นทางการทำงาน (Path) ที่สั่งให้เครื่องกลึงทำงานแล้วเปลี่ยนเป็นคำสั่งละเอียดที่แปลงเป็นรหัสตัวเลข (Numerical Code) รหัสคำสั่งนี้จะถูกอ่านและแปลค่าเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อใช้ควบคุมเครื่องต่อไป นอกเหนือจากเส้นทางการทำงานของเครื่องกลึงกับชิ้นงานแล้วคำสั่งเชิงตัวเลขอาจนำมาใช้ควบคุมเร็วให้คงที่อัตราการป้อนสารหล่อเย็นและการเลือกมีดกลึงได้คำสั่งเหล่านี้จะบันทึกลงบนเทปเอ็นซีแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณซึ่งกระตุ้นให้ระบบกลไกทำงานไปตามกระบวนการของเครื่อง

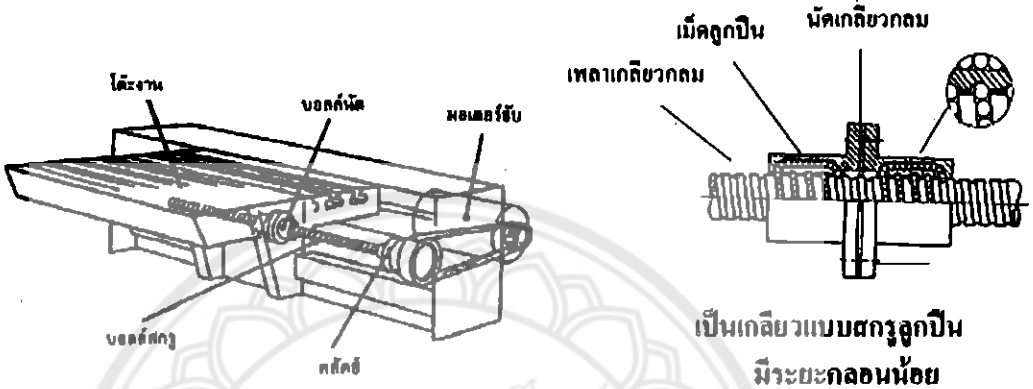
2.3.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง (Machining Center)

2.3.2.1 ชุดควบคุมการทำงาน (Controller) ชุดควบคุมของ (Machining Center) เป็นระบบคอมพิวเตอร์ที่สามารถจัดเก็บโปรแกรมแก้ไขดัดแปลงได้คอมพิวเตอร์เข้าใจโปรแกรมที่ป้อนและทำงานตามคำสั่งในโปรแกรมชุดควบคุมประกอบไปด้วยแผงควบคุม (Control panel) จอภาพ (Monitor) แป้นพิมพ์ (Keyboard หรือ Keypad) และปุ่มสวิตช์ควบคุมต่างๆ เช่น ความเร็วฟีด (Feed) และความเร็วสปินเดิล (Spindle) เป็นต้น ดังรูปที่ 2.3



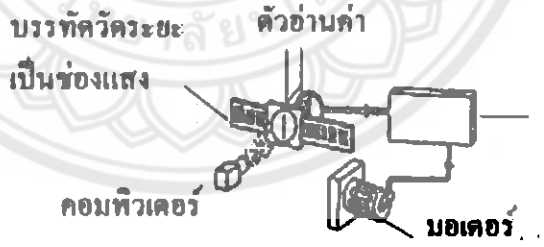
รูปที่ 2.3 รูปชุดควบคุมการทำงานต่าง ๆ
ที่มา: กฤติกร สุขศิริพงศ์วาสี (2552)

2.3.2.2 กลไกการเคลื่อนที่ ได้แก่ ฟีดมอเตอร์ (Feed Motor) ซึ่งเป็นโซโวมอเตอร์ (Servo Motor) ควบคุมการเคลื่อนที่ของแกนต่างๆ ได้โดยใช้บอลสกรู (Ball Screw) แปลงการเคลื่อนที่เชิงมุม (Angular Motion) เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น (Linear Motion) โดยมีตำแหน่งหรือระยะทางการเคลื่อนที่และความเร็วถูกควบคุมโดยรับสัญญาณจากคอนโทรลเลอร์นอกจากนี้จะมีรางนำทาง (Guide Way) รองรับการเคลื่อนที่ที่แกนต่างๆ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กลไกการเคลื่อนที่
ที่มา: กฤติกร สุขศิริพงศ์วาสี (2552)

สำหรับเครื่องที่ต้องการความแม่นยำสูงจะมีลิเนียร์สเกล (Linear Scale) เป็นอุปกรณ์ตรวจรู้หรือเซนเซอร์ (Sensor) บอกตำแหน่งในการเคลื่อนที่ในแต่ละแกน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจรของกลไกการเคลื่อนที่
ที่มา: กฤติกร สุขศิริพงศ์วาสี (2552)

2.3.2.3 ตัวเครื่องจักร โครงสร้างที่ประกอบเป็นรูปร่างที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานตามประเภทของเครื่องจักรนั้นๆ ตัวเครื่องจักรมีส่วนปรักกอบหลักเช่น

ก. แท่นเครื่อง (Machine Bed) เป็นโครงสร้างหลักของตัวเครื่องจักร สำหรับรองรับอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร

ข. หมอนรอง หรือ แสดเดิล (Saddle) เคลื่อนที่ได้ 1 แกนบนแท่นเครื่อง เช่น แกน X หรือแกน Y

ค. โต๊ะ (Table) สำหรับวางชิ้นงานโดยทั่วไปโต๊ะเคลื่อนที่อยู่บนหมอนรองมีร่องรูปตัวที (T-slot) สำหรับใช้ในการจับยึดชิ้นงานให้แนบติดกับโต๊ะมีระนาบโต๊ะตั้งติดกับเสา

ง. เสา (Column) เป็นโครงสร้างสำหรับติดตั้งสปินเดิล เครื่องแมชชีนนิ่งเซนเตอร์แนวตั้งรุ่นใหม่นิยมสร้างเป็นแบบเสาคู่ (Double Column) เพราะให้ความแม่นยำที่ดีกว่า

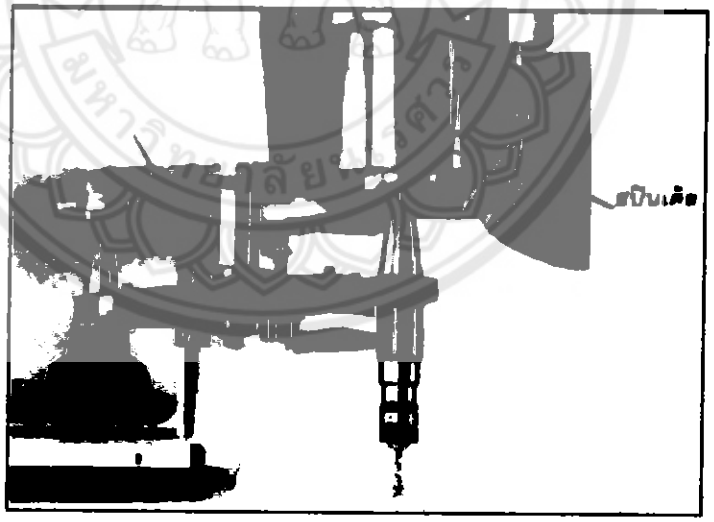
จ. สปินเดิล (Spindle) สำหรับติดตั้งชุดจับทูล แบบเทเปอร์แชงค์ (Tapered Shank) หรือแบบไฮสปีด (Hig Speed) โดยมีมอเตอร์สปินเดิล (Spindle Motor) ขับเคลื่อนสปินเดิลผ่านเกียร์หรือสายพานหรือต่อตรงรวมเป็นชุดเดียวกัน

2.3.2.4 อุปกรณ์เปลี่ยนทูลอัตโนมัติ (Automatic Tool Changer, ATC) ติดตั้งในเครื่องแมชชีนนิ่งเซนเตอร์ทั้งแบบแนวตั้ง (Vertical Machining Center หรือ VMC) และแบบแนวนอน (Horizontal Machining Center) สามารถเปลี่ยนทูลจากที่เก็บทูล (Tool Storage) หรือทูลแมคกาซีน (Tool Magazine) ประเภทของ ATC สามารถแยกได้ดังนี้

ก. เป็นแบบโซ่ (Chain-Type)

ข. แบบจานหมุน (Carousel-Type)

โดยแบบโซ่สามารถเก็บทูลได้จำนวนมากกว่าแบบจานหมุน ทั้งสองแบบจะมีแขนจับเปลี่ยนทูล (Tool Changing Arm) ระหว่างที่เก็บทูลและสปินเดิล บางรุ่นอาจจะไม่ต้องใช้แขนหรือเป็นแบบไร้แขน (Armless) ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7



รูปที่ 2.6 แสดงชุดเปลี่ยนทูลอัตโนมัติ

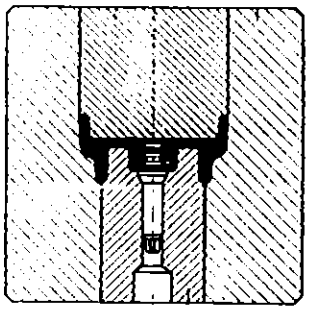
ที่มา: กฤติกร สุขศิริพงศ์วาสี (2552)

รูปที่ 2.7 แสดงชุดเปลี่ยนทูลอัตโนมัติเครื่องกัด
ที่มา: กฤติกร สุขศิริพงศ์วาสี (2552)

2.4 ทฤษฎีงานแม่พิมพ์พลาสติก

ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์พลาสติก การตัดสินใจเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ถึงความต้องการการใช้งานแม่พิมพ์ที่ดีที่สุดและมีความคุ้มค่ามากที่สุดการตัดสินใจในการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกกระบวนการผลิตการผลิตแบบหนึ่ง หรือหลายๆชิ้นงาน จำนวนของชิ้นงานที่ต้องการผลิตความเที่ยงตรงของชิ้นงานและสภาพผิวของชิ้นงานแม่พิมพ์พลาสติกมีการใช้งานที่แตกต่างกันไปเช่น แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (Injection moulding) แม่พิมพ์เป่า (Blow moulding) แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปร่าง (Extrusion moulding) แม่พิมพ์แบบส่งผ่าน (Transfer moulding) แม่พิมพ์แบบอัด (Compression moulding) และอื่นๆ โดยทั่วไปสามารถจำแนกประเภทแม่พิมพ์พลาสติกได้ดังต่อไปนี้

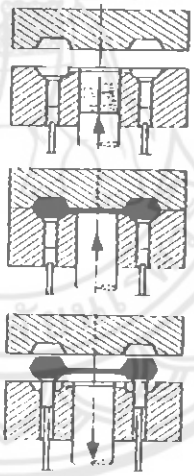
2.4.1 แม่พิมพ์อัดและอัดฉีด (Compression and Transfer moulding) แม่พิมพ์อัดเป็นการผลิตชิ้นงานโดยใช้พลาสติกชนิดเทอร์โมเซตตั้งลงในแม่พิมพ์แล้วทำการปิดแม่พิมพ์โดยใช้ความดันสูงพร้อมกับให้ความร้อนทำให้พลาสติกหลอมละลายเข้าแทรกยังโพรงของแม่พิมพ์ จากนั้นหล่อเย็นให้พลาสติกแข็งตัวจึงปลดชิ้นงานออก ข้อแตกต่างระหว่างแม่พิมพ์อัดและแม่พิมพ์ฉีดคือ แม่พิมพ์อัดจะใช้ลูกสูบอัดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ ส่วนแม่พิมพ์ฉีดจะใช้การเติมพลาสติก แม่พิมพ์อัดจะถูกนำมาใช้ในงานผลิตชิ้นงานต้นแบบ ผลิตชิ้นงานเป็นจำนวนน้อย ใช้เวลาในการผลิตนาน รูปแม่พิมพ์อัด แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แม่พิมพ์อัด

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์) (2552)

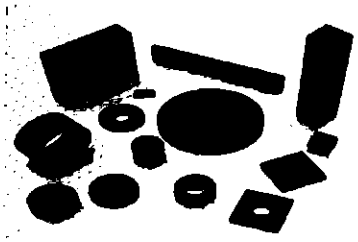
ส่วนแม่พิมพ์อัดฉีดดังแสดงในรูปที่ 2.9 เป็นการพัฒนาแม่พิมพ์อัดให้เป็นการผลิตแบบอัตโนมัติ โดย พลาสติกจะยังไม่ถูกใส่ไปในแม่พิมพ์โดยตรง พลาสติกจะถูกทำให้ร้อนในกระบอกสูบก่อนที่จะถูกส่งไปยังแม่พิมพ์ ข้อแตกต่างระหว่างแม่พิมพ์อัดฉีดและแม่พิมพ์อัดอยู่ที่โครงสร้างของแม่พิมพ์ โดยแม่พิมพ์อัดฉีดจะต้องมีห้องอัดซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมกับเบ้า (Cavity) แม่พิมพ์ด้วยรูฉีด



รูปที่ 2.9 แม่พิมพ์อัดฉีดและกระบวนการอัดฉีด

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์) (2552)

สำหรับแม่พิมพ์อัดและอัดฉีดจะใช้ในการผลิต เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์อัดและอัดฉีดแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์อัดและอัดฉีด
ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์) (2552)

เครื่องอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ที่สร้างชิ้นงานจากอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ของบริษัท ภิรมย์โอสาร จำกัด มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.11 และในรูปที่ 2.12 แสดงถึงส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ

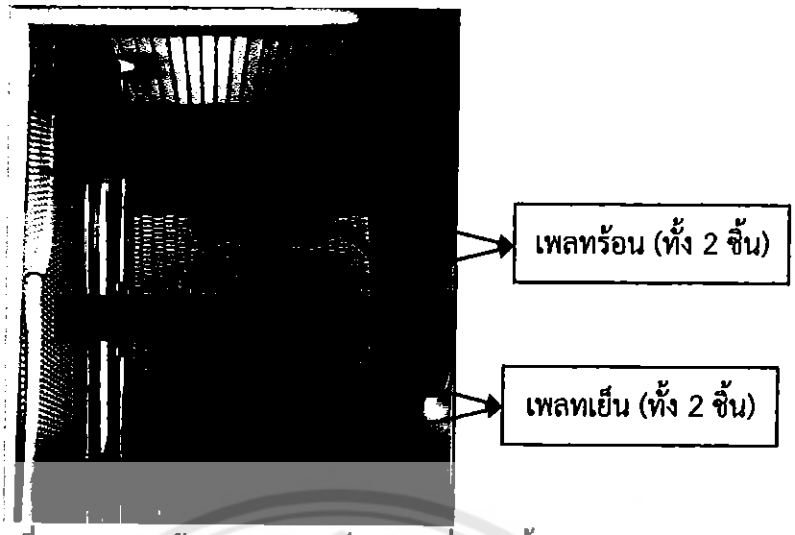
รูปที่ 2.11 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)
ที่มา: อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ข้อมูลทางเทคนิค

Maximum Pressure:	20 Tons
Plate Size:	200x200 mm
Daylight:	150 mm
Approx. Weight:	950 Kg

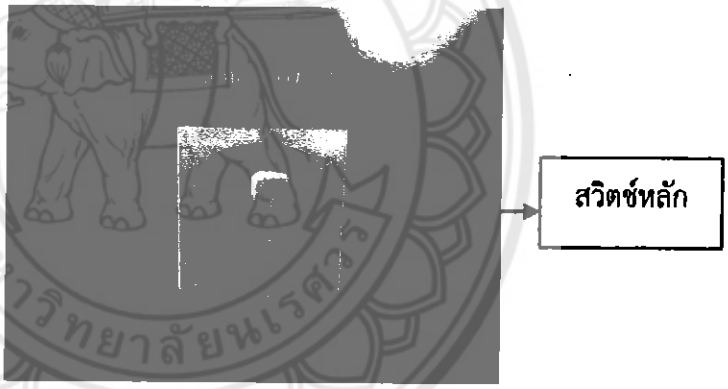
รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)
ที่มา: อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ในรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นถึงเพลทร้อนและเย็นของเครื่องอัดขึ้นรูปที่มีลักษณะแยกกันเป็นส่วนๆ และในรูปที่ 2.14 เป็นสวิตช์หลักของเครื่องอัดขึ้นรูปที่ใช้ในการเปิดปิดเครื่อง



รูปที่ 2.13 เพลทร้อนและเพลทเย็นของเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

ที่มา: อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปที่ 2.14 สวิตช์หลักของเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

ที่มา: อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

2.5 เหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติก

เหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์พลาสติกจะมีมากมายหลายอย่าง ซึ่งอาจจะแบ่งตามชนิดของเหล็ก เกรด คุณสมบัติ เป็นต้น เราควรจะเลือกเหล็กที่จะนำไปใช้ทำแม่พิมพ์ให้เหมาะสมกับกระบวนการต่างๆ เพื่อประสิทธิภาพในการใช้งานที่ยืนยาว ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 เกรดมาตรฐานทั่วไปและส่วนผสม (ร้อยละ) ของเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์

เหล็กที่ชุบแข็งมาแล้ว									
	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Cu	Ai	Ni
M202	0.40	0.30	1.50	2.00	-	0.20	-	-	-
M238	0.38	0.30	1.50	2.00	-	0.20	-	-	1.10
P20	0.40	0.30	1.45	2.00	-	1.20	-	-	-
เหล็กสแตนเลส									
	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Cu	Ai	Ni
M300	0.38	0.40	0.65	16.00	-	1.00	-	-	0.80
M310	0.41	0.70	0.45	14.30	0.20	0.60	-	-	-
M340	0.54	0.45	0.40	17.30	0.10	1.10	-	-	-
N695	1.05	0.40	0.40	17.00	-	0.20	-	-	-
เหล็กที่ชุบแข็งพร้อมใช้งาน									
	C	Si	Mn	Cr	V	Mo	Cu	Ai	Ni
M461	0.13	0.30	2.00	0.35	-	-	-	-	3.50
NAK80	0.15	0.30	1.50	-	-	0.30	1.00	1.00	3.00

ที่มา: บริษัท ชนะพานิช สตีล จำกัด (2552)

ตารางที่ 2.2 ค่าความแข็งของเหล็กทำแม่พิมพ์

การอบ-ชุบ		ความแข็ง (Hardness)
N695	ชุบน้ำมัน	58 - 60 HRC
M202	ชุบน้ำมัน/เป่าลม	46 - 49 HRC
M238	ชุบน้ำมัน/เป่าลม	52 - 54 HRC
NAK80	ชุบน้ำมัน/เกลือ	37 - 43 HRC
P20	ชุบน้ำมัน/เกลือ	30 - 33 HRC
M300	ชุบน้ำมัน/เป่าลม	น้ำมัน 46 - 49 HRC ลม 42- 48 HRC
M310	ชุบน้ำมัน/เป่าลม	53-56 HRC
M340	ชุบน้ำมัน	53-58 HRC
M461	เป่าลม	40 - 44 HRC

ที่มา: บริษัท ชนะพานิช สตีล จำกัด (2552)

2.5.1 คุณสมบัติเหล็กและรูปแบบการใช้งาน

2.5.1.1 เหล็กที่ชุบแข็งมาแล้วไม่ต้องชุบแข็งเพิ่มเติม ขัดเงาได้ดี สามารถกลึง เจาะ ไส ได้ดีมีคุณสมบัติ ทางโฟโตเอทชิ่งดี ความแข็งแรงสูง อาทิเช่น

ก. เหล็ก M202 ขัดขึ้นเงาดี ทำงานง่าย มีความแข็งสม่ำเสมอใช้ทำแม่พิมพ์พลาสติก แม่พิมพ์แบล็คกาไลท์ ทำโมลด์อินเสิร์ต (ชิ้นสอด)

ข. เหล็ก M238 เป็นเหล็กที่ชุบแข็งมาแล้ว มีส่วนผสมกำมะถันต่ำมากกว่าร้อยละ 0.003 ทำให้ไม่มีตามด มีความแข็งสม่ำเสมอ ขัดเงาได้เหมือนกระจก ใช้ทำแม่พิมพ์พลาสติก แม่พิมพ์แบล็คกาไลท์ เมลามีน

ค. เหล็ก P20 กลึงง่าย ไม่เปราะ สามารถทำพิมพ์ลวดลายได้สามารถรับแรงดึงสูงเหมาะทำแม่พิมพ์อัดพลาสติก

2.5.1.2 เหล็กสแตนเลส สามารถทนต่อการกัดกร่อนสูง สามารถทนต่อการสึกหรอได้ดี

ก. เหล็ก N695 ใช้ทำอุปกรณ์ที่ต้องการทนสนิม มีความคมและทนทานต่อการเสียดสี เช่น มีดผ่าตัด

ข. เหล็ก M300 ทำแม่พิมพ์ชนิดแบบที่ต้องการทน กรดสูง ทนสนิม เช่น แม่พิมพ์พลาสติก แม่พิมพ์อุตสาหกรรมท่อพีวีซี

ค. เหล็ก M310 สามารถทนต่อการกัดกร่อนที่สูงได้ และสามารถทนต่อการสึกหรอได้ดี

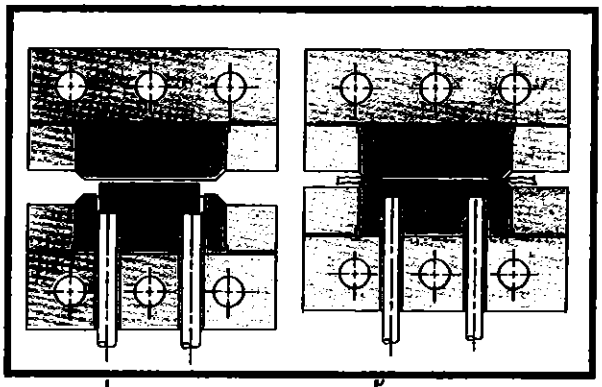
ง. เหล็ก M340 สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก ทนต่อการสึกหรอได้ดีมาก คงขนาดรูปร่างได้ดีระหว่างชุบแข็ง ทำโมลด์, โมลด์อินเสิร์ต, สกรู

จ. เหล็ก NAK80 เป็นเหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติกชั้นสูง มีอายุการใช้งานยาวนาน มีความสามรถในการกลึงที่ดีเยี่ยมทั้งที่มี ความแข็งสูง ขัดเงาเหมือนกระจก

ช. เหล็ก M461 เป็นเหล็กที่ชุบแข็งมาแล้วและพร้อมใช้งาน ไม่ต้องชุบแข็งเพิ่มเติม (อยู่ในสภาพชุบแข็งพร้อมใช้งาน 40 HRC สามารถชุบแข็งได้สูงสุดถึง 44 HRC) ความแข็งสูง การขัดเงาดีเลิศ สามารถเจาะ ไสได้ดี มีคุณสมบัติทาง โฟโตเอทชิ่งดีทำแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการความแข็งแรงสูง

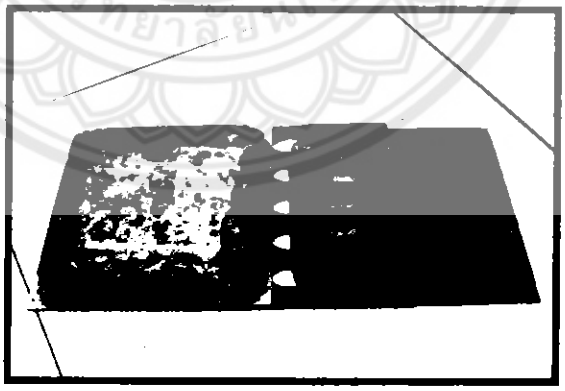
2.6 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพอลิเมอร์

แม่พิมพ์อัด (Compression) แม่พิมพ์อัดเป็นการผลิตชิ้นงาน โดยใช้พลาสติกชนิดเทอร์โมเซตติ้งลงในแม่พิมพ์แล้วทำการปิดแม่พิมพ์โดยใช้ความดันสูงพร้อมกับให้ความร้อนทำให้พลาสติกหลอมละลายเข้าแทรกยังโพรงของแม่พิมพ์ จากนั้นหล่อเย็นให้พลาสติกแข็งตัวจึงปลดชิ้นงานออก

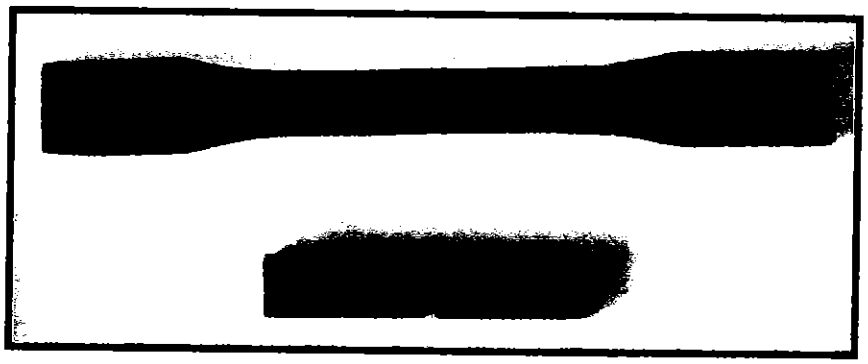


รูปที่ 2.15 กระบวนการอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์
ที่มา: วิลเลียม เอฟ สมิธ,วัสดุวิศวกรรม (2547)

แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ เป็นแม่พิมพ์ที่อาศัยการทำงานที่สะดวกและรวดเร็วเหมาะสมกับชิ้นงานที่มีรูปร่างที่ไม่ซับซ้อนโดยการทำงานของแม่พิมพ์จะคำนึงถึงการไหลของเม็ดพลาสติกที่เติมเต็มแม่พิมพ์และความหนาชิ้นงาน ซึ่งตัวชุดแม่พิมพ์มีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ส่วน ดังรูปที่ 2.15 คือ แผ่นบน แผ่นล่าง แผ่นกลาง (แบบของชิ้นงาน) หลักการทำงานของแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปคือเมื่อบรรจุเม็ดพลาสติกลงในแม่พิมพ์นำแผ่นเหล็กแผ่นล่างและบนประกบกันแล้วนำไปเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ในช่องที่ให้ความร้อน เครื่องอัดจะทำการกดอัดแม่พิมพ์และให้ความร้อนจนเม็ดพลาสติกหลอมละลายไหลเติมเต็มแม่พิมพ์ หลังจากนั้นยกแม่พิมพ์ออกแล้วนำไปใส่ในช่องหล่อเย็น เพื่อที่จะทำการหล่อเย็นให้กับแม่พิมพ์เพื่อให้พลาสติกที่หลอมละลายเกิดการขึ้นรูปและแข็งตัว หลังจากนั้นยกแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัดและแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 2.16 และ 2.17



รูปที่ 2.16 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพอลิเมอร์
ที่มา: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปที่ 2.17 ชิ้นงานที่ได้จากแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพอลิเมอร์
ที่มา: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

2.6.1 ข้อดีของแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพอลิเมอร์

2.6.1.1 เหมาะสมสำหรับชิ้นงานที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อน
2.6.1.2 มีต้นทุนอุปกรณ์ที่ต่ำ
2.6.1.3 มีความแม่นยำในการขึ้นรูปสูง
2.6.1.4 ระยะเวลาในการขึ้นรูปที่สั้นและรวดเร็ว
2.6.1.5 เกิดของเสียจากการปั๊มขึ้นรูปน้อยมาก

2.6.2 ข้อเสียของแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพอลิเมอร์

2.6.2.1 มีความเร็วในการผลิตต่ำ
2.6.2.2 ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน
2.6.2.3 ความสม่ำเสมอของผนังชิ้นงานที่ขึ้นรูปทำได้ยากมาก

2.7 พลาสติก

เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนวัสดุธรรมชาติ บางชนิดเมื่อเย็นก็แข็งตัว เมื่อถูกความร้อนก็อ่อนตัว บางชนิดแข็งตัวถาวร มีหลายชนิด เช่น ไนลอน ยางเทียม ใช้ทำสิ่งต่างๆ เช่น เสื้อผ้า ฟิล์ม ภาชนะ ส่วนประกอบเรือหรือรถยนต์

2.7.1 พลาสติกชนิดต่างๆ

พลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ เทอร์โมพลาสติก และ เทอร์โมเซตติ้งพลาสติก

2.7.2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) หรือเรซิน

เป็นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายที่สุด มีสมบัติพิเศษคือ เมื่อหลอมแล้วสามารถนำมาขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่ได้ ชนิดของพลาสติกใน ตระกูลเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ พอลิพรอพีลีน (Polypropylene: PP) มีลักษณะขาวขุ่น ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน มีความหนาแน่นในช่วง ๐.๘๙๐ – ๐.๙๐๕ ด้วยเหตุนี้จึงสามารถลอยน้ำได้เช่นเดียวกันกับพอลิเอทิลีน ลักษณะอื่นๆ คล้ายกับพอลิเอทิลีน

2.7.2.1 สมบัติทั่วไป

ก. มีผิวแข็ง ทนทานต่อการขีดข่วนคงตัวไม่เสียรูปง่าย

ข. สามารถทำเป็นบานพับในตัว มีความทนทานมาก

ค. เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก แม้ที่อุณหภูมิสูง

ง. ทนทานต่อสารเคมีส่วนมาก แต่สารเคมีบางชนิดอาจทำให้พองตัว หรืออ่อนนิ่มได้

จ. มีความเหนียวที่อุณหภูมิตั้งแต่ ๑๐๕ องศาฟาเรนไฮต์ไปจนถึง ๑๕ องศาฟาเรนไฮต์ (๔๐ องศาเซลเซียส ถึง –๑๐ องศาเซลเซียส) แต่ที่ ๐ องศาฟาเรนไฮต์ จะเปราะ

ฉ. มีความต้านทานการซึมผ่านของไอน้ำและก๊าซได้ดี

ช. สามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization: ๑๐๐ องศาเซลเซียส) ได้

ซ. ผสมสีได้ง่ายทั้งลักษณะโปร่งแสงและทึบแสง

2.7.2.2 ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิโพรไพลีน

ผลิตภัณฑ์ที่พบเสมอคือ กล่องเครื่องมือ กระเป๋า ปกแฟ้มเอกสาร กล่องและตลับ เครื่องสำอาง เครื่องใช้ในครัวเรือนกล่องบรรจุอาหาร อุปกรณ์ของรถยนต์อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วัสดุบรรจุภัณฑ์ในอุตสาหกรรม อุปกรณ์ทางการแพทย์ขวดใส่สารเคมี กระป๋องน้ำมันเครื่องกระสอบข้าว และถุงบรรจุปุ๋ย

เป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาติกที่เบาที่สุด มีสมบัติเชิงกลดีมาก เหนียว ทนต่อแรงดึง แรงกระแทกและทรงตัวดี มีจุดหลอมตัวที่ 165 c ไอน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก มีการนำเอา PP ไปใช้งานในลักษณะเดียวกับ PE เมื่อต้องการให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น PP ได้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง ตัวอย่างเช่น ใช้ทำถุงร้อน ฟิล์มใส ฟิล์มห่อหุ้ม หรือบรรจุอาหารที่ไม่ต้องการให้ออกซิเจนซึมผ่าน พลาสติกหุ้มซองบุหรี่เซือก แห อวน ถังน้ำมัน ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ ภาชนะเครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น

2.8 โปรแกรม Mastercam x4

Mastercam เป็น Software ที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อรองรับโรงงานที่ใช้เครื่องจักร CNC โดยมีจุดประสงค์ที่จะให้ Software สามารถทำงานกับเครื่องจักร CNC ได้ทุกประเภทเช่นงานผลิตชิ้นส่วน, งานผลิตแม่พิมพ์,งานกลึง,งานเส้นลวดตัดและ งานไม้และทั้งนี้ยังสามารถทำงานได้กับเครื่องจักรทุกยี่ห้อไม่ว่าจะเป็น เครื่องจักรจากประเทศอเมริกา,ยุโรป,ญี่ปุ่น,ไต้หวัน ฯลฯ โดย Mastercam มีจุดเด่นหลักๆ ที่ทำให้ผู้ใช้ต่างๆเลือกใช้และชอบ คือเรียนรู้ง่ายและเร็วสามารถทำงานกับเครื่องจักรต่างๆได้ง่ายการทำงานไม่ ซับซ้อนเป็น Software ที่ค่อนข้างเสถียรและคุณภาพงานที่ดีเป็นที่ยอมรับไปทั่วโลก

Mastercam X4 คือโปรแกรม CAD\CAM ที่คิดค้นและพัฒนาขึ้นมาเพื่อรองรับโรงงานอุตสาหกรรม ที่ใช้เครื่องจักร CNC โดยมีจุดประสงค์ที่พัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเพื่อให้รองรับการทำงานกับเครื่องจักร CNC ได้ทุกประเภท

2.8.1 การจำลองเส้นทางเดินของดอกกัด

การจำลองเส้นทางเดินของดอกกัดเป็นการจำลองให้เห็นเส้นทางเดินของดอกในการกัดแม่พิมพ์ว่าสามารถเดินกัดชิ้นงานแม่พิมพ์ได้ตรงตามแบบที่ได้กำหนดไว้ถูกต้องหรือไม่ เมื่อได้เส้นทางที่ต้องการและถูกต้องตามแบบแล้วก็ทำการกัดจริงบนเครื่องซีเอ็นซี

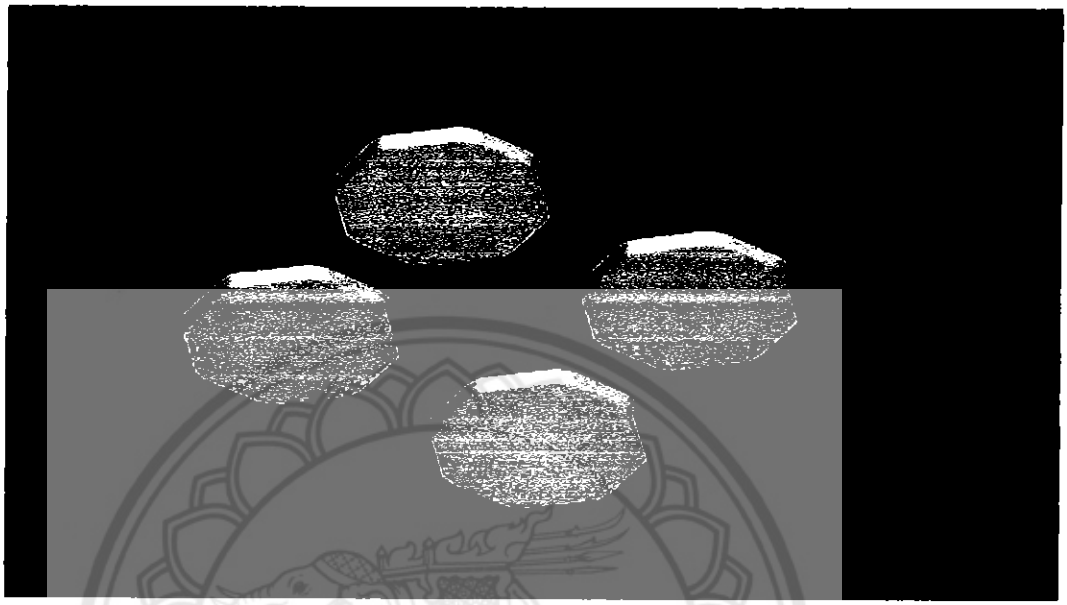
2.8.1.1 แม่พิมพ์แผ่นล่างก่อนการจำลองเส้นทางเดินของดอกกัด

การแสดงขอบเขตก่อนการจำลองเส้นทางเดินของดอกกัดดังรูปที่ 2.18 หลังจากการเขียนแบบ

รูปที่ 2.18 แม่พิมพ์แผ่นล่างก่อนการจำลอง

2.8.1.2 แม่พิมพ์แผ่นล่างตอนจำลองเส้นทางการเดินของดอกกัด

ก่อนการจำลองเส้นทางเดินของดอกกัดจะต้องทำการเลือกดอกกัดที่เหมาะสมกับแม่พิมพ์และแบบ หลังจากนั้นลองจำลองเส้นทางเดินของดอกกัดดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แม่พิมพ์แผ่นล่างตอนจำลองเส้นทางการเดิน

2.8.1.3 แม่พิมพ์แผ่นล่างตอนจำลองการเจาะรู

ก่อนการจำลองการเจาะรูจะต้องทำการเลือกดอกเจาะตามขนาดรูเจาะที่กำหนดไว้ในแบบ แล้วทำการจำลองการเจาะดังรูปที่ 2.20

รูปที่ 2.20 แม่พิมพ์แผ่นล่างตอนจำลองการเจาะรู

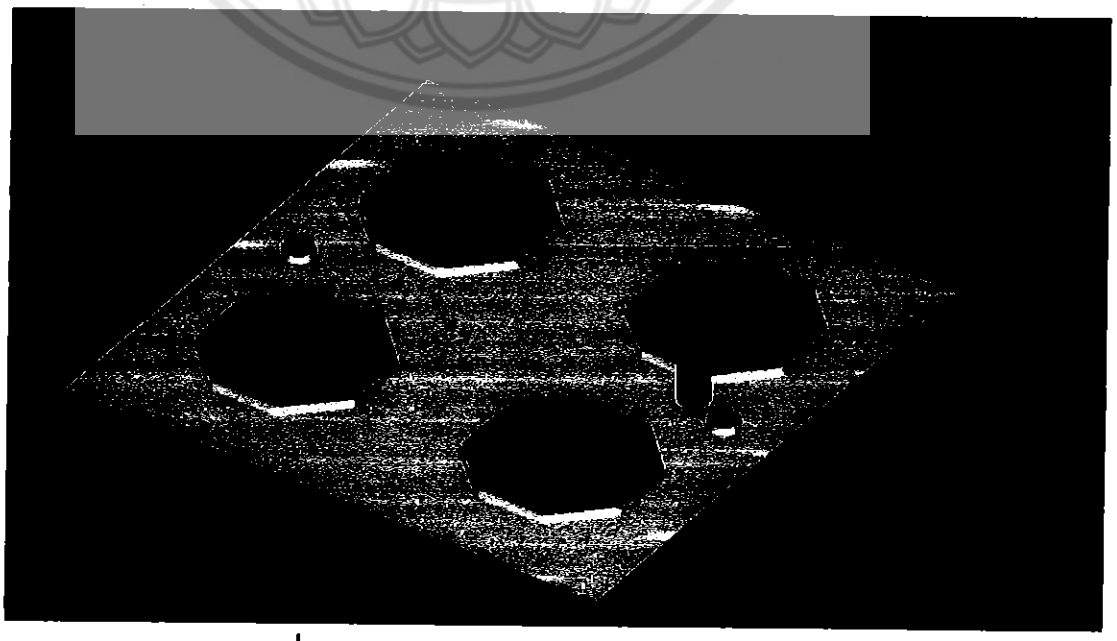
2.8.1.4 แม่พิมพ์แผ่นบนก่อนการจำลองเส้นทางเดินของดอกกัด

การแสดงขอบเขตก่อนการจำลองเส้นทางเดินของดอกกัดดังรูปที่ 2.21 หลังจากการเขียนแบบ

รูปที่ 2.21 แม่พิมพ์แผ่นบนก่อนการจำลอง

2.8.1.5 แม่พิมพ์แผ่นบนตอนจำลองเส้นทางการเดินของดอกกัด

ก่อนการจำลองเส้นทางเดินของดอกกัดจะต้องทำการเลือกดอกกัดที่เหมาะสมกับแม่พิมพ์และแบบ หลังจากนั้นลองจำลองเส้นทางเดินของดอกกัดดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แม่พิมพ์แผ่นบนตอนจำลองเส้นทางการเดิน

2.9 ความเชื่อมั่นของเครื่องมือวิจัย (Reliability)

2.9.1 การหาความเชื่อมั่นแบบอิงกลุ่มโดยใช้ค่าความแปรปรวน

วิธีการของคูเดอร์ - ริชาร์ดสัน Kuder – Richardson (ค.ศ. 1937) เป็นการหาความเชื่อมั่นโดยการ ใช้เครื่องมือ 1 ชุด ใช้ทดสอบเพียงครั้งเดียว และไม่ต้องแบ่งครึ่งแบบทดสอบ โดยมีสมมติฐานที่ว่าข้อคำถามในเครื่องมือชุดเดียวกันจะวัดในองค์ประกอบเดียวกัน นั่นคือ เนื้อหาข้อคำถามแต่ละข้อภายในฉบับจะต้องมีความเป็นเอกพันธ์ ดังนั้น การ หาค่าความเชื่อมั่นโดยวิธีการนี้จึงเป็นการวัดความสอดคล้องภายในของเครื่องมือ (Internal Consistency) มีสูตรในการคำนวณ 2 สูตร คือ

2.9.1.1 สูตร KR – 20

$$r_{tt} = \frac{K}{K-1}\left[1 - \frac{\sum pq}{S_t^2}\right] \qquad (2.1)$$

เมื่อ r_{tt} หมายถึง ค่าความเชื่อมั่น

K หมายถึง จำนวนข้อ

p หมายถึง สัดส่วนของคนที่ทำถูกแต่ละข้อ

q หมายถึง สัดส่วนของคนที่ทำผิดในแต่ละข้อ = 1- p

S_t^2 หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งฉบับ

2.9.1.2 สูตร KR – 21

$$r_{tt} = \frac{K}{K-1}\left[1 - \overline{X}\left\{\frac{K-\overline{X}}{KS_t^2}\right\}\right] \qquad (2.2)$$

เมื่อ r_{tt} หมายถึง ค่าความเชื่อมั่น

K หมายถึง จำนวนข้อ

$\overline{X}$ หมายถึง คะแนนเฉลี่ย

S_t^2 หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

2.9.2 เกณฑ์การแปลผล

ค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมืออยู่ระหว่าง 0.00 – 1.00 ยิ่งใกล้ 1.00 ยิ่งมีความเชื่อมั่นสูง

เกณฑ์การแปลผลความเชื่อมั่นมีดังนี้

0.00 – 0.20 ความเชื่อมั่นต่ำมาก/ไม่มีเลย

0.21 – 0.40 ความเชื่อมั่นต่ำ

0.41 – 0.70 ความเชื่อมั่นปานกลาง

0.71 – 1.00 ความเชื่อมั่นสูง

2.10 ค่าความผิดพลาดของเครื่องวัด (Errors Measurement)

ความคลาดเคลื่อน หมายถึง ปริมาณหรือตัวเลขที่แสดงความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงของสิ่งที่เราวัด (Expected Value) และค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด (Measured Value)

ความคลาดเคลื่อนอาจจำแนกได้ 3 ประเภท คือ

2.10.1 ความคลาดเคลื่อนโดยผู้วัด (Gross Errors)

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขณะใช้เครื่องวัด เช่นการอ่านค่าจากเครื่องวัดผิดพลาด การบันทึกข้อมูลในการทดสอบผิดพลาด หรือการใช้เครื่องวัดผิดวิธี

2.10.2 ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Errors)

เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากองค์ประกอบต่าง ๆ ในการระบวนการใช้เครื่องวัดประกอบด้วย

2.10.2.1 ความคลาดเคลื่อนในเครื่องวัด (Instrument Errors) ความคลาดเคลื่อนเกิดจากการเสียดสีภายในของเดือยกับแบริ่ง หรือการคายตัวหรือการตึงตัวสปริงก้นหอย สามารถลดได้โดยการ
บำรุงรักษา การควบคุมเครื่องวัดอย่างถูกวิธี

2.10.2.2 ความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อม (Environmental Errors) ความคลาดเคลื่อนนี้เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมขณะใช้เครื่องวัด เช่น บริเวณที่มีอุณหภูมิสูง หรือบริเวณที่มีความชื้นไม่เหมาะสม ซึ่งอาจทำให้การทำงานของเครื่องวัดเกิดความคลาดเคลื่อนได้

2.10.2.3 ความคลาดเคลื่อนในการสังเกตเพื่ออ่านค่าจากสเกล (Observational Errors) ความคลาดเคลื่อนนี้เกิดจากการสังเกตของผู้อ่านค่ามองไม่ตั้งฉากกับเข็มและสเกล การแก้ไขทำได้โดยการใช้กระจกหรือแถบสะท้อนแสงติดอยู่ในระนาบเดียวกับสเกล สำหรับการอ่านค่าที่ถูกต้องต้องมองเห็นเข็มกับภาพของเข็มทับซ้อนกันสนิท

2.10.3 ความคลาดเคลื่อนแบบแรนดอม (Random Errors)

ความคลาดเคลื่อนนี้เป็นความคลาดเคลื่อนที่มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนโดยผู้วัด และความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ จะมีความสำคัญเฉพาะกรณีที่ต้องการความถูกต้องในการวัดสูงเท่านั้นสำหรับการคำนวณหาต้องใช้วิธีการทางสถิติ

วิธีการค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด

กำหนดให้

e = ความคลาดเคลื่อนของการวัด

Yn = ค่าที่แท้จริงของสิ่งที่วัด

Xn = ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด

$$e = Xn - Yn \tag{2.3}$$

นอกจากนี้ค่าร้อยละความคลาดเคลื่อนหาได้จาก

$$\text{Percent errors} = \frac{Xn - Yn}{Yn} \times 100 \tag{2.4}$$

แทนค่าสมการที่ 1-1 ในสมการที่ 1-2 จะได้

$$\text{Percent errors} = \frac{Xn - Yn}{Yn} \times 100 \tag{2.5}$$

2.11 อัตราการยืดหดตัวจากการขึ้นรูปของพลาสติก

เมื่อพลาสติกถูกหลอมเหลวภายในกระบอกฉีดที่มีความร้อนจะทำให้พลาสติกขยายตัว หลังจากนั้นใช้แรงดันทำให้พลาสติกหดตัวลง และเมื่อพลาสติกหลอมเหลวและถูกทำให้เย็นลงภายในแม่พิมพ์ก็จะหดตัวลงจากการทำ ความเย็น และขยายตัวขึ้นจากการกำจัดแรงดัน เราเรียกความแตกต่างของปริมาตรว่า การยืดหดตัวจากการขึ้นรูปของพลาสติก

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ 2.3 ร้อยละการหดตัว

1) Polystyrene	2/1000 ~ 10/1000 (0.2~1.0)
2) Polystyrene **ชนิดทนแรงกระแทก**	2/1000 ~ 10/1000 (0.2~1.0)
3) Polyethylene **ความหนาแน่นต่ำ**	~ 30/1000 (~3.0)
4) Polyethylene **ความหนาแน่นสูง**	10/1000 ~ 40/1000 (1.0~4.0)
5) Polypropylene	8/1000 ~ 22/1000 (0.8~2.2)
6) Acrylnitrile – Butadien – Styrene (ABS)	3/1000 ~ 8/1000 (0.3~0.8)
7) Styrene – Acrylnitrile – Copolymerisate (SAN)	2/1000 ~ 6/1000 (0.2~0.6)
8) Polycarbonate	5/1000 ~ 8/1000 (0.5~0.8)
9) Polyacetate	15/1000 ~ 35/1000 (1.5~3.5)
10) Nylon 6	6/1000 ~ 20/1000 (0.6~2.0)
11) Acetatecellulose	4/1000 ~ 5/1000 (0.4~0.5)
12) Polyvinylchloride, PVC hard	1/1000 ~ 4/1000 (0.1~0.4)
13) Polyvinylchloride, PVC soft	10/1000 ~ 50/1000 (1.0~5.0)
14) FRTP(SAN)	1/1000 ~ 3/1000 (0.1~0.3)
15) FRTP(PC)	1/1000 ~ 3/1000 (0.1~0.3)

ถึงแม้จะเป็นพลาสติกชนิดเดียวกัน แต่ถ้าเงื่อนไขการฉีดแตกต่างกัน **อัตราการหดตัวของพลาสติกย่อมแตกต่างกันด้วย** เช่น อุณหภูมิภายในกระบอกฉีดสูง แรงดันฉีดต่ำ **อัตราการหดตัวจะมีค่าสูง** ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิภายในกระบอกฉีดต่ำ แรงดันฉีดสูงอัตราการหด**ตัวจะมีค่าต่ำ กล่าวโดยสรุป**คืออัตราการหดตัวจะแตกต่างกันตามทิศทางการไหลและการบรรจบกัน**ของ** พลาสติก การกระจายของอนุภาคในพลาสติก รวมถึงความแตกต่างที่เกิดจากระดับการเย็นตัว**ลงจากความหนาของชิ้นงาน โครงสร้างของแม่พิมพ์ และลักษณะรูปทรงของชิ้นงานด้วย**

15921909
ฝง.
ว3389
2554

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ

ชนิดพอลิเมอร์	ความต้านทานแรงดึง	ร้อยละการหดตัว	มอดุลัสยืดหยุ่น (psi)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	แรงกระแทกไอซอด (ft.lb/in)	การใช้งาน
ความหนาแน่นต่ำ	3000	800	40000	0.92	9	ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ ฉนวนหุ้มสายไฟ ขวด ท่อ เครื่องใช้ภายในบ้าน
ความหนาแน่นสูง	5500	130	180000	0.96	4	
Ultrahigh Molecular Weight	7000	350	100000	0.934	30	
โพลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)	9000	100	600000	1.4	-	ท่อ วาล์ว สุขภัณฑ์ แผ่นปูพื้น ฉนวนหุ้มสายไฟ หลังคารถ
โพลิโพรพิลีน (PP)	6000	700	220000	0.9	1	ถังน้ำ พรม เชือก บรรจุภัณฑ์
โพลิสไตรีน (PS)	8000	60	450000	1.06	0.4	โฟมบรรจุภัณฑ์และฉนวน แผงหลอดไฟ อุปกรณ์ไฟฟ้า
โพลิอะคริโลไนไตรล์(PAN)	9000	4	580000	1.15	4.8	เส้นใยสิ่งทอ เส้นใยตั้งต้นผลิตเส้นใยคาร์บอน ถังบรรจุอาหาร

ที่มา: ผศ.ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ (2548)

สูตรคำนวณค่าหดตัวของชิ้นงาน

การหดตัวของชิ้นงานจะคำนวณจากชิ้นงานทดสอบ

$$\text{อัตราการหดตัว} = \frac{\text{ขนาดของแม่พิมพ์} - \text{ขนาดของชิ้นงาน}}{\text{ขนาดของแม่พิมพ์}} \qquad (2.6)$$

$$\text{ร้อยละการหดตัว} = \frac{\text{ขนาดของแม่พิมพ์} - \text{ขนาดของชิ้นงาน}}{\text{ขนาดของแม่พิมพ์}} \times 100 \qquad (2.7)$$

2.12 งานวิจัยอ้างอิง

ปริญญานิพนธ์เรื่อง โปรแกรมการออกแบบและการผลิตบนพื้นฐานเทคโนโลยี CAD/CAM/CNC สำหรับการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปพอลิเมอร์ (Process of Mold Press Polymer on CAD/CAM and CNC Tecnologies)

โครงงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้โปรแกรม Mechanical Desktop 6 (CAD) เพื่อช่วยในการออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปพอลิเมอร์ และการใช้โปรแกรม hyperMILL Version 6 (CAM) เพื่อช่วยในการจำลองการทำงานของเครื่องกัดระบบซีเอ็นซี โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซีรุ่น Mazak FJV-250 ในการกัดแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปพอลิเมอร์ ซึ่งวัสดุที่ใช้คือ เหล็กแผ่น (SS400)

การออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปพอลิเมอร์ชนิดโพลีเอทเทลีน (PE) จะทำการออกแบบเป็นรูปจานรองแก้ว แม่พิมพ์มีด้วยกันทั้งหมด 3 ชิ้น ซึ่งขนาดของแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปพอลิเมอร์จะมีขนาดความกว้างและความยาว 200 มิลลิเมตร ความหนาแม่พิมพ์ 3 ชิ้นรวมกันทั้งหมด 16 มิลลิเมตร เมื่อได้ NC – code จึงทำการทดลองกัดชิ้นงานด้วยอลูมิเนียม และกัดชิ้นงานจริงบนแผ่นเหล็ก จึงจะได้แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปพอลิเมอร์ตามแบบที่ออกไว้ รวมทั้งได้ชิ้นงานที่เป็นจานรองแก้วออกมา

จากการศึกษาและทดลองปริญญานิพนธ์เรื่อง โปรแกรมการออกแบบและการผลิตบนพื้นฐานเทคโนโลยี CAD/CAM/CNC สำหรับการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปพอลิเมอร์ (Process of Mold Press Polymer on CAD/CAM and CNC Tecnologies) พบว่าการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ยาก ดังนั้นทางผู้ดำเนินโครงงานจึงทำการออกแบบและปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์ให้สามารถปลดชิ้นงานออกได้ง่ายและเร็วขึ้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam x4

เป็นการศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam x4 ในการเขียนแบบและแปลงโค้ด เพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยศึกษาความรู้พื้นฐานของโปรแกรม Mastercam x4, โปรแกรมกัดงานในระบบ 3 แกน (3D Machianing Cycle) และขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Mastercam x4

3.2 ศึกษาการใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250

เป็นการศึกษาการใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 โดยศึกษาวิธีการใช้งานของเครื่องจักรซีเอ็นซี, ระบบการทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซี, การควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรซีเอ็นซี, ชุดควบคุมเครื่องจักรซีเอ็นซีและการกำหนดแนวแกนของเครื่องจักรซีเอ็นซี

3.3 ทำการกัดแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี

เป็นการปฏิบัติการใช้โปรแกรม Mastercam x4 ช่วยในการออกแบบและช่วยในการผลิตสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีในการผลิตแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ โดยการผลิตจะใช้เหล็กเกรด P20 เพราะเหมาะสมในการทำแม่พิพ์สำหรับการอัดขึ้นรูปพลาสติก

3.4 ทดลองอัดแม่พิมพ์และปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์

ทำการทดลองอัดแม่พิมพ์โดยทำการทดลองกับเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) เพื่อให้แน่ใจว่าแม่พิมพ์สามารถขึ้นรูปชิ้นงานและแกะออกได้ ถ้าทำการทดลองอัดแม่พิมพ์แล้วไม่สามารถแกะออกหรือมีข้อผิดพลาดตรงไหนก็ทำการปรับปรุงและแก้ไขแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้แม่พิมพ์ที่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานและแกะออกได้

3.5 ทำการทดสอบและอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์จริง

เป็นการทดสอบและอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์จริงของแม่พิมพ์ที่ได้จากกระบวนการกัดจากเครื่องซีเอ็นซี เพื่อให้ได้ที่รองแก้วตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้เครื่อง Compression Molding ของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการในการอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์

3.6 วิเคราะห์และสรุปผล

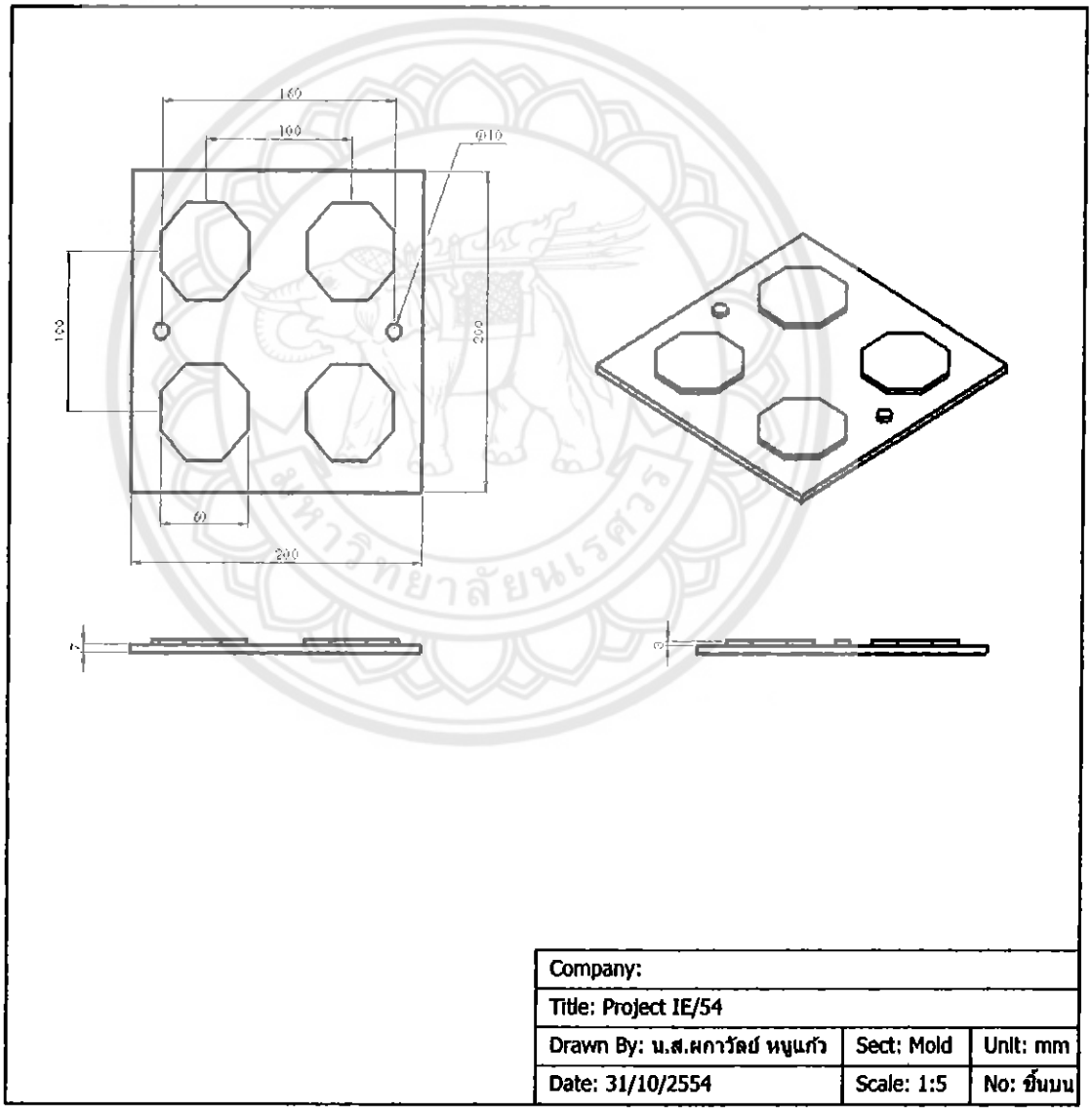
เป็นการวิเคราะห์และสรุปผลของการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) และช่วยในการผลิต (CAM) สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีว่ามีข้อผิดพลาดและมีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใดจากขนาดชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูป

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 แบบที่ได้จากการใช้โปรแกรม Mastercam x4

4.1.1 แบบของแม่พิมพ์แผ่นบน

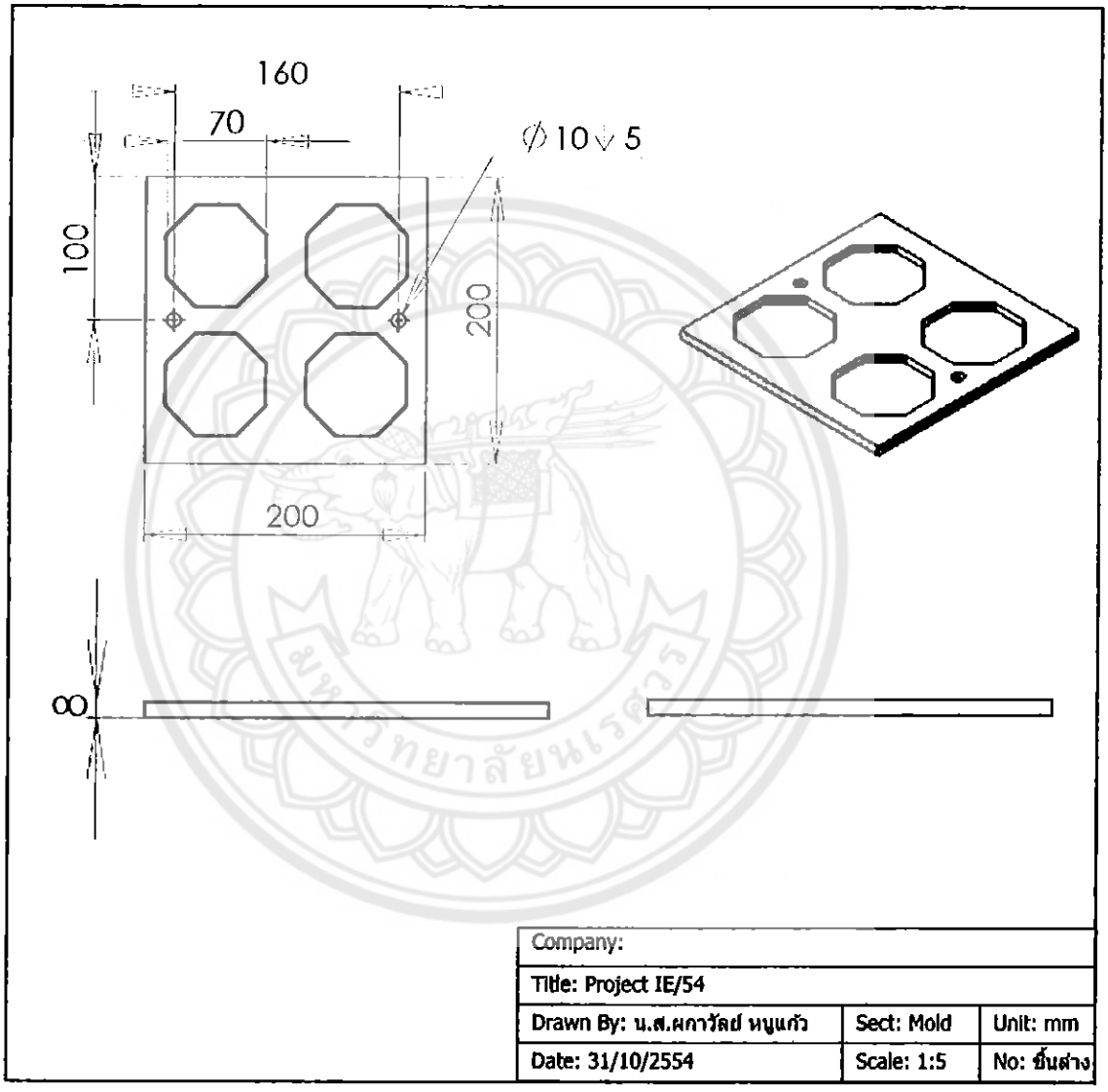
การออกแบบและเขียนแบบในโปรแกรม Mastercam x4 โดยการออกแบบเป็นรูปแปดเหลี่ยมกำหนดขนาดความกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร และสูง 7 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของรูปแปดเหลี่ยม 60 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ขนาดของแม่พิมพ์แผ่นบน

4.1.2 แบบของแม่พิมพ์แผ่นล่าง

การออกแบบและเขียนแบบในโปรแกรม Mastercam x4 โดยการออกแบบเป็นรูปแปดเหลี่ยมกำหนดขนาดความกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร และสูง 8 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของรูปแปดเหลี่ยม 70 มิลลิเมตร ลึกลง 5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ขนาดของแม่พิมพ์แผ่นล่าง

4.2 การแปลง NC-Code โดยการใช้โปรแกรม Mastercam x4

4.2.1 ขอบเขตของการกัดชิ้นงานแผ่นบน

ทางผู้ดำเนินโครงงานจะนำแบบที่ได้จากการใช้โปรแกรม Mastercam x4 มาแปลง NC-code โดยจะทำการกำหนดขอบเขตของการกัดชิ้นงานบนแผ่นเหล็กที่จะทำเป็นแม่พิมพ์แผ่นบนก่อน ดังรูปที่ 4.3 เมื่อได้ NC-code ออกมาก็จะนำไปป้อนในเครื่องซีเอ็นซีเพื่อทำการกัดชิ้นงานดังรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.3 ขอบเขตของการกัดชิ้นงานแผ่นบน

```
%
O0000 (ASSEMBLY)
(DATE=DD-MM-YY - 23-05-11 TIME=HH:MM - 17:42)
(NCX FILE - P:\PROTECT\CLOTHES II\MOLD FINISH\CORE(UP).NCX)
(NC FILE - C:\Documents and Settings\Mosh\Desktop\PROTECT II MOD\ASSEMBLY.NC)
(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)
( T4 | | H4 )
( T1 | | H1 | XY STOCK TO LEAVE - .1 | Z STOCK TO LEAVE - 0. )
( T2 | | H2 )
N100 G21
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
( PREPARE TOOL )
N104 T4 M6
N106 G0 G90 G54 X210. Y-12. A0. S1500 M3
N108 G43 H4 Z2. M8
N110 Z1.
N112 G1 Z-.294 F1500.
N114 Y0.
N116 Y200.
N118 Y212.
N120 G0 Z2.
N122 Y-12.
N124 Z1.
N126 G1 Z-.588
N128 Y0.
N130 Y200.
N132 Y212.
N134 G0 Z2.
N136 Y-12.
N138 Z1.
N140 G1 Z-.882
N142 Y0.
```

รูปที่ 4.4 NC-code ของแผ่นบน

4.2.2 ขอบเขตของการกัดชิ้นงานแผ่นล่าง

ทางผู้ดำเนินโครงงานจะนำแบบที่ได้จากการใช้โปรแกรม Mastercam x4 มาแปลงโค้ด โดยจะทำการกำหนดขอบเขตของการกัดชิ้นงานบนแผ่นเหล็กที่จะทำเป็นแม่พิมพ์แผ่นล่างดังรูปที่ 4.5 เมื่อได้ NC-code ออกมาก็จะนำไปป้อนในเครื่องซีเอ็นซีเพื่อทำการกัดชิ้นงานดังรูปที่ 4.6

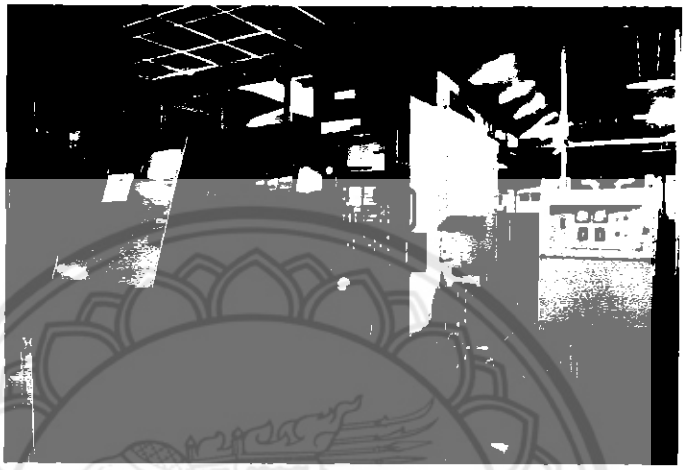
รูปที่ 4.5 ขอบเขตของการกัดชิ้นงานแผ่นล่าง

```
(0000 (CAVITYFIN)
(DATE-TO BE: YY - 23 MO 11 TIME-HH:MI - 17:45)
(MAX FILE   P:\PROJECT\PROJECT 11\MOLD FINISH\CAVITYFIN.MAX)
(NC FILE - O:\TOOLPATH AND SETTING\MOLD\ORDER\PROJECT 11 NEW\CAVITYFIN.NC)
(MATERIAL - ALUMINUM 6061 - 2024)
( T1 | | H1 )
( T3 | | H3 )
( T2 | | H2 | XY STOCK TO LEAVE   .05 | Z STOCK TO LEAVE - 0. )
N100 G21
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
N104 T1 M6
N106 G0 G90 G54 X85.737 Y77.978 A0. S    M3
N108 G43 H1 Z50. M8
N110 Z7.2
N112 G1 Z6.2 F500.
N114 Y78.074 Z5.225
N116 Y78.359 Z4.287
N118 Y78.821 Z3.422
N120 Y79.443 Z2.664
N122 Y80.2 Z2.043
N124 Y81.065 Z1.581
N126 Y82.003 Z1.296
N128 Y82.976 Z1.2
N130 G2 X90.737 Y87.978 I5. J0.
N132 X95.737 Y82.978 I0. J-5.
N134 X85.737 Y72.978 I-10. J0.
N136 X75.737 Y82.978 I0. J10.
N138 X85.712 Y92.970 I10. J0.
N140 G1 X85.737
N142 X85.933 Y92.976 Z1.197
N144 X86.13 Y92.97 Z1.193
```

รูปที่ 4.6 NC-code ของแผ่นล่าง

4.3 การใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250

ทางผู้ดำเนินโครงงานทำการกัดแม่พิมพ์โดยจะใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 ดังรูปที่ 4.7 ของสถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาค 3 ชลบุรี ณ ห้องปฏิบัติการซีเอ็นซี แผนกช่างกลโรงงาน ซึ่งเป็นเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบ 3 แกน โดยจะทำการกัดแม่พิมพ์ทีละ 1 ชิ้น



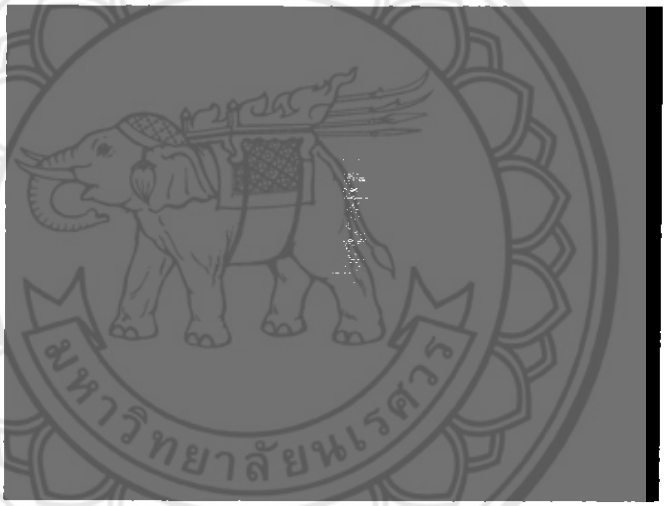
รูปที่ 4.7 เครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250

4.4 ทำการกัดแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี

การปฏิบัติการใช้เครื่องกัดซีเอ็นซีทำการกัดแม่พิมพ์ โดยจะแบ่งตามชิ้นส่วนแม่พิมพ์คือ แม่พิมพ์ส่วนบน แม่พิมพ์ส่วนล่าง ซึ่งวัสดุที่ใช้คือ เหล็กแผ่นธรรมดา (P20) ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งจะมีขนาดเริ่มต้นคือ มีด้านกว้าง 210 มิลลิเมตร ด้านยาว 210 มิลลิเมตร และความหนาคือ 10 มิลลิเมตร โดยเหล็กทุกแผ่นจะถูกกัดและเจียรปาดหน้าให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 แล้วนำเหล็กไปเตรียมกัดด้วยเครื่องซีเอ็นซีดังรูปที่ 4.11

รูปที่ 4.8 ชิ้นงานเหล็กแผ่น

รูปที่ 4.9 ชิ้นงานที่ถูกกัดปาดหน้าเรียบ



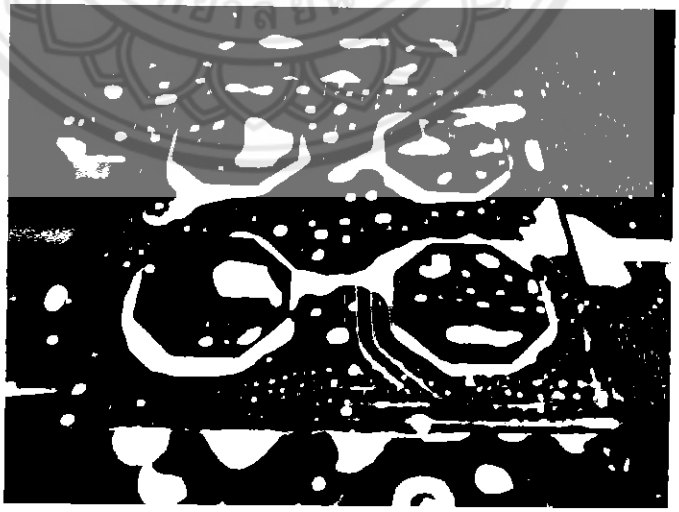
รูปที่ 4.10 ชิ้นงานเหล็กแผ่นที่ถูกเจียรปาดหน้าเรียบ

รูปที่ 4.11 การจับชิ้นงานเหล็กแผ่นเพื่อเตรียมกัด

4.4.1 กัดแม่พิมพ์แผ่นบน

แม่พิมพ์แผ่นบนจะถูกกัด โดยกัดขอบชิ้นงานใช้ดอกกัดแบบหัว Endmill Carbine ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร กินชิ้นงานที่ละ 0.5 มิลลิเมตร กัดผิวหน้าชิ้นงานใช้ดอกกัดแบบหัว Endmill Carbine ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร กินชิ้นงานที่ละ 0.5 มิลลิเมตร และดอกกัดแบบหัว Endmill Carbine ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร กินชิ้นงานที่ละ 0.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.12 แล้วได้แม่พิมพ์ที่กัดเสร็จแล้วดังรูปที่ 4.13 หลังจากนั้นนำไปลบมุมดังรูปที่ 4.14 ได้แม่พิมพ์แผ่นบนที่สำเร็จดังรูปที่ 4.15

รูปที่ 4.12 การกัดขอบชิ้นงาน



รูปที่ 4.13 การกัดแม่พิมพ์แผ่นบน

รูปที่ 4.14 ตะไบเก็บขอบชิ้นงาน

รูปที่ 4.15 แม่พิมพ์แผ่นบนที่กัดเสร็จ

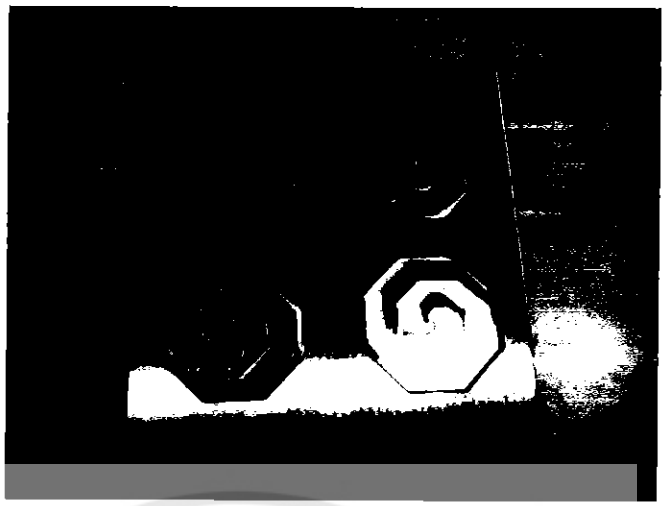
4.4.2 กัดแม่พิมพ์แผ่นล่าง

แม่พิมพ์แผ่นล่างจะถูกกัด โดยกัดขอบชิ้นงานใช้ดอกกัดแบบหัว Endmill Carbine ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร กินชิ้นงานที่ละ 0.5 มิลลิเมตร กัดผิวหน้าชิ้นงานใช้ดอกกัดแบบหัว Endmill Carbine ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร กินชิ้นงานที่ละ 0.5 มิลลิเมตร และดอกกัดแบบหัว Endmill Carbine ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร กินชิ้นงานที่ละ 0.5 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.16 แล้วได้แม่พิมพ์ที่กัดเสร็จแล้วดังรูปที่ 4.17 หลังจากนั้นนำไปลบมุมดังรูปที่ 4.18 ได้แม่พิมพ์แผ่นล่างที่สำเร็จดังรูปที่ 4.19 หลังจากได้แม่พิมพ์ทั้งสองแผ่นดังรูปที่ 4.20 แล้วนำมาลองประกอบเข้าด้วยกันดังรูปที่ 4.21

รูปที่ 4.16 การกัดขอบชิ้นงาน

รูปที่ 4.17 การกัดแม่พิมพ์แผ่นล่าง

รูปที่ 4.18 ตะไบเก็บขอบชิ้นงาน



รูปที่ 4.19 แม่พิมพ์แผ่นล่างที่กัดเสร็จ

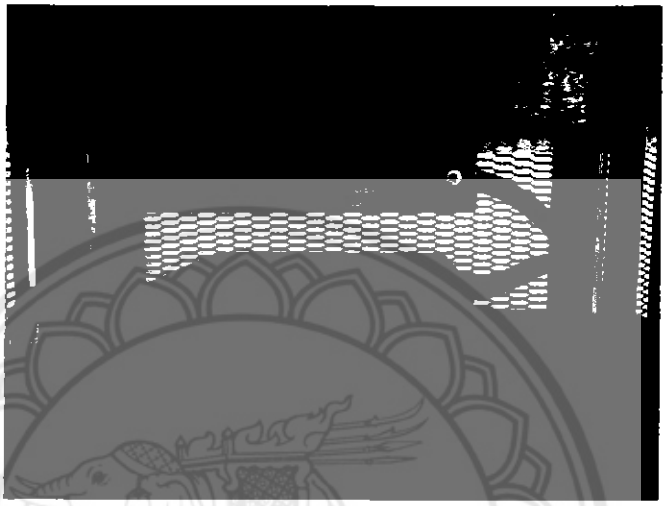
รูปที่ 4.20 แม่พิมพ์กัดสำเร็จ

รูปที่ 4.21 การประกอบแม่พิมพ์

4.5 ทดลองอัดแม่พิมพ์และปรับปรุงแก้ไขแม่พิมพ์

4.5.1 ทดลองอัดแม่พิมพ์

ทำการทดลองอัดแม่พิมพ์กับเครื่อง Compression Molding โดยลองอัด Mold เปล่าที่ไม่ได้ใส่เม็ดพลาสติก เพื่อดูว่าจะสามารถปลด mold ออกจากกันได้หรือไม่ ดังรูปที่ 4.22

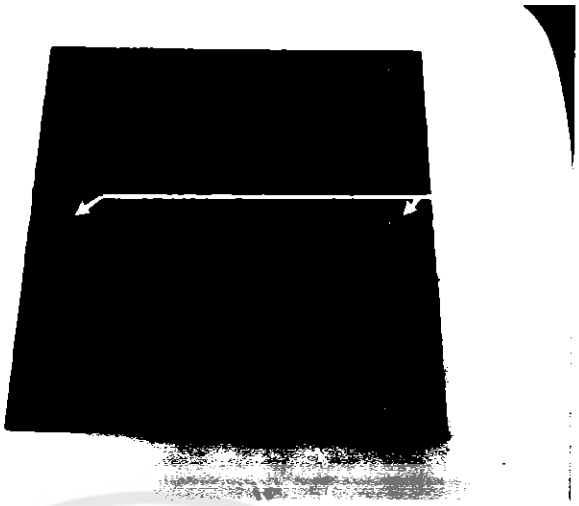


รูปที่ 4.22 การทดสอบแม่พิมพ์

เมื่อลองทำการทดลองอัดแม่พิมพ์กับเครื่อง Compression Molding ปรากฏว่า ปลดแม่พิมพ์ออกจากกันยาก จึงต้องทำการปรับปรุงและแก้ไขแม่พิมพ์ให้สามารถปลดออกได้ง่ายขึ้น

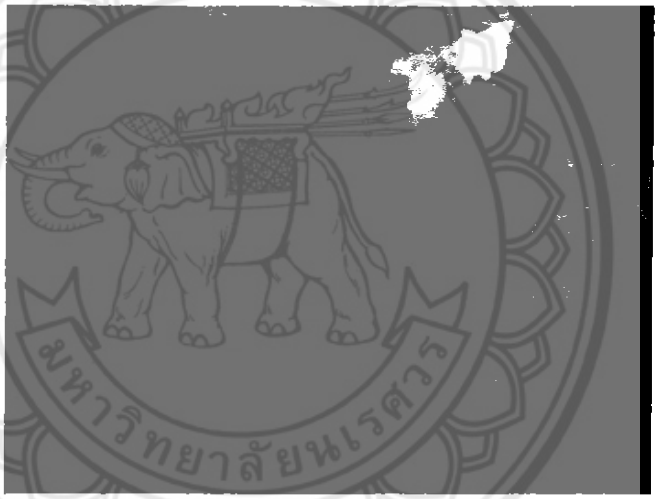
4.5.2 การแก้ไขแม่พิมพ์

4.5.2.1 ทำการเจาะรูทะลุ 2 ข้างของแม่พิมพ์แผ่นบน ดังรูปที่ 4.23 เพื่อเป็นตัวช่วยปลดล็อคแม่พิมพ์ โดยมีสกรู ดังรูปที่ 4.24 เป็นตัวช่วยดันแม่พิมพ์ออก แล้วนำแม่พิมพ์แผ่นบนมาประกอบกับสกรูดังรูปที่ 4.25

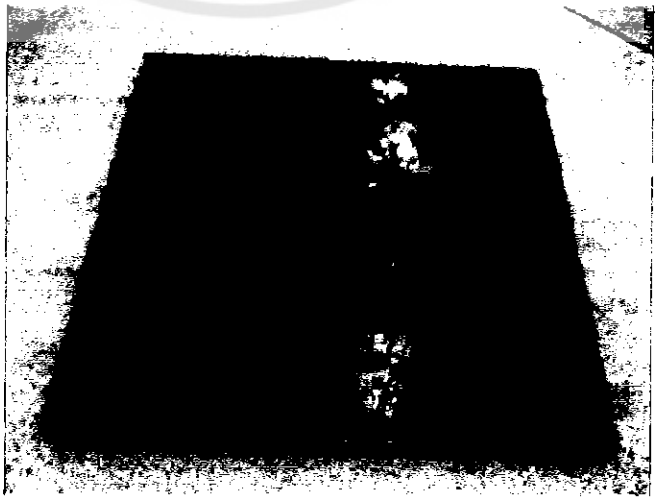


การเจาะรู
2 ข้าง

รูปที่ 4.23 การเจาะรูของแม่พิมพ์แผ่นบน



รูปที่ 4.24 สกรูเกลียวหยาบ



รูปที่ 4.25 การประกอบสกรูกับแม่พิมพ์แผ่นบน

4.5.2.2 การทำ Locater ที่ช่วยป้องกันการเคลื่อนที่ให้กับแม่พิมพ์แผ่นล่าง 2 ข้าง ดังรูปที่ 4.26 เพื่อช่วยในการล็อคมุมของแม่พิมพ์เวลาประกอบเข้าด้วยกันและช่วยประคองแม่พิมพ์แผ่นบนเวลาใส่เม็ดพลาสติกในแม่พิมพ์แผ่นล่าง เพื่อไม่ให้แม่พิมพ์แผ่นบนเคลื่อนเมื่อนำมาประกอบกัน ดังรูปที่ 4.27

รูปที่ 4.26 การทำ Locater ตรงมุม

รูปที่ 4.27 การประกอบแม่พิมพ์แผ่นล่างกับแม่พิมพ์แผ่นบนและสกรู

4.6 การทดสอบและอัดขึ้นรูป

การทดสอบอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์จะใช้เม็ดพลาสติกพอลิพรอพีลีน (Polypropylene: PP) เป็นวัสดุทำที่จานรองแก้ว โดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกของบริษัท ภิรมย์โอฬาร จำกัด ดังรูปที่ 4.28 เป็นเครื่องอัดที่มีแรงอัดสูงสุด 20 ตัน และจะใช้อุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 4 นาที

เพื่อให้พลาสติกไหลมาเติมเต็มแม่พิมพ์ ซึ่งจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ที่มา: ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ (2553))

รูปที่ 4.28 เครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกของบริษัท ภิรมย์โอสาร จำกัด

4.6.1 ผลการทดสอบและอัดขึ้นรูป

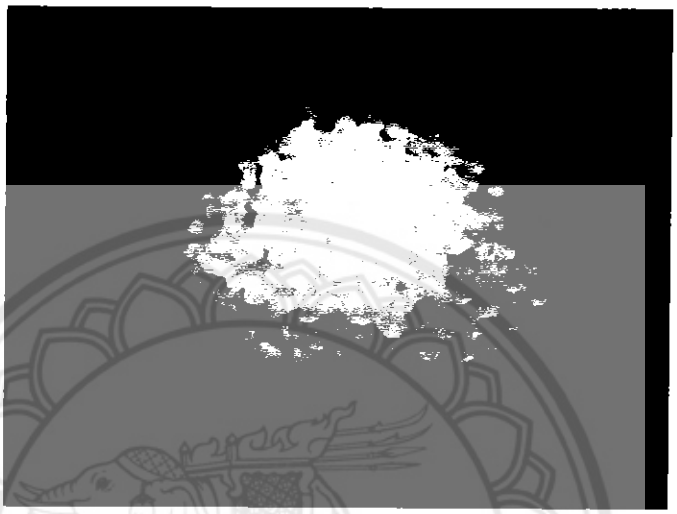
4.6.1.1 ทำการวอร์มเครื่องอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์

ทำการวอร์มแม่พิมพ์ในเครื่องอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ รอจนกว่าอุณหภูมิของเครื่องอัดสูงขึ้นตามที่ได้ตั้งค่าไว้ ดังรูปที่ 4.29

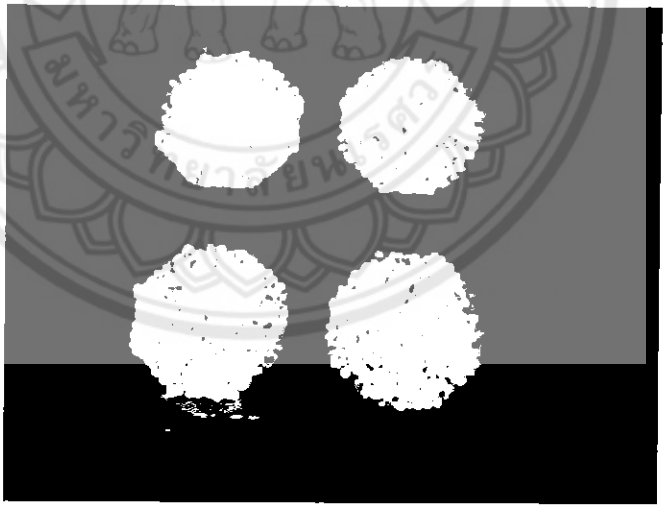
รูปที่ 4.29 การวอร์มเครื่องพร้อมกับแม่พิมพ์

4.6.1.2 ใส่เม็ดพลาสติก

ทำการใส่เม็ดพลาสติกลงไปในแม่พิมพ์แล้วทำการให้ความร้อนที่ 200 องศาเซลเซียส เวลา 4 นาที เพื่อให้เม็ดพลาสติกหลอมละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน ดังรูปที่ 4.30, 4.31 และ 4.32



รูปที่ 4.30 เม็ดพลาสติกชนิด PP



รูปที่ 4.31 ใส่เม็ดพลาสติกในแม่พิมพ์

รูปที่ 4.32 นำมาประกอบกัน

4.6.1.3 การอัดขึ้นรูปแม่พิมพ์

นำแผ่นแม่พิมพ์แผ่นบนมาประกบแผ่นล่าง แล้วทำการอัดใน plate ร้อน 4 นาที อุณหภูมิที่ 200 องศาเซลเซียสและ plate เย็น 4 นาที ดังรูปที่ 4.33 และ 4.34

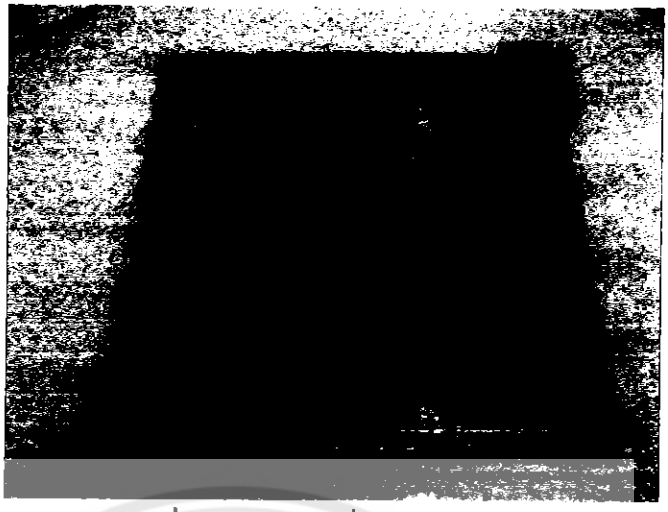
รูปที่ 4.33 การอัดขึ้นรูปพลาสติก

รูปที่ 4.34 นำแม่พิมพ์ใส่ใน plate เย็น

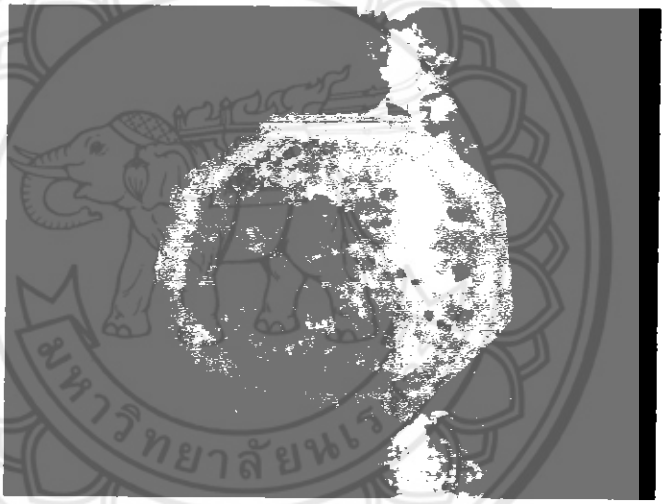
4.6.1.4 การปลดล็อคแม่พิมพ์

นำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัดและทำการปลดล็อคแม่พิมพ์ออกจากกัน โดยการขันสกรูทั้ง 2 ตัว ดังรูปที่ 4.35เพื่อทำการแยกแม่พิมพ์ทั้ง 2 แผ่นออกจากกัน ดังรูปที่ 4.36 และได้ชิ้นงานดังรูปที่ 4.37

รูปที่ 4.35 แม่พิมพ์ที่อัดเสร็จเรียบร้อยแล้วมาทำการปลดออก



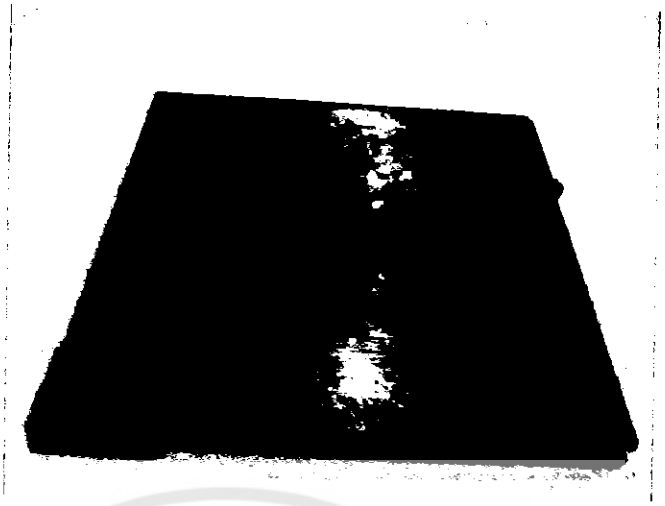
รูปที่ 4.36 แม่พิมพ์ที่ปลดออกมาแล้ว



รูปที่ 4.37 ที่รองแก้ว

4.7 วิเคราะห์ผลการทดลองขึ้นรูปแม่พิมพ์

4.7.1 จากการศึกษาโปรแกรม Mastercam x4 และการศึกษาเครื่องกัดซีเอ็นซี พบว่าในการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพอลิเมอร์ขึ้นมาซึ่งแม่พิมพ์ที่ได้ตรงตามที่ออกแบบไว้และเมื่อได้ทำการทดสอบอัดขึ้นรูปเป็นที่รองแก้วพลาสติกดังรูปที่ 4.38 นั้น ที่รองแก้วที่ได้ก็มีความสมบูรณ์ตรงตามแม่พิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบไว้ ซึ่งแม่พิมพ์ที่ได้นั้นสามารถใช้งานได้จริง ดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.38 แม่พิมพ์สำเร็จรูป

รูปที่ 4.39 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง

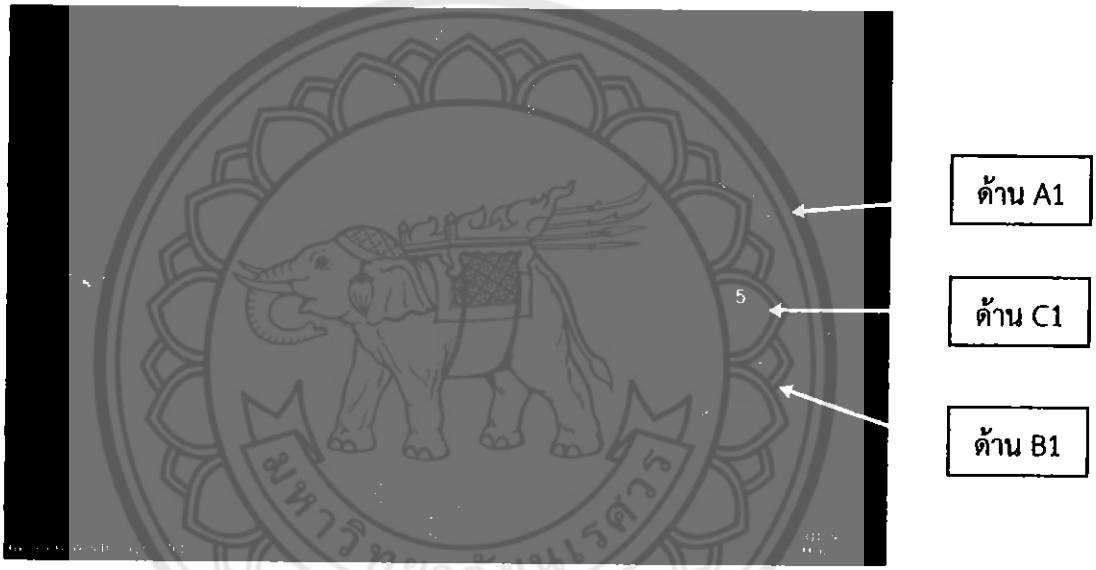
แม่พิมพ์ที่ผ่านการแก้ไขและปรับปรุงมาแล้วสามารถปลดล็อคแม่พิมพ์ออกจากกันและปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย โดยชิ้นงานที่ได้จากการทดลองมีความสมบูรณ์ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้

4.7.2 การวิเคราะห์ขนาดของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงานที่รองแก้ว

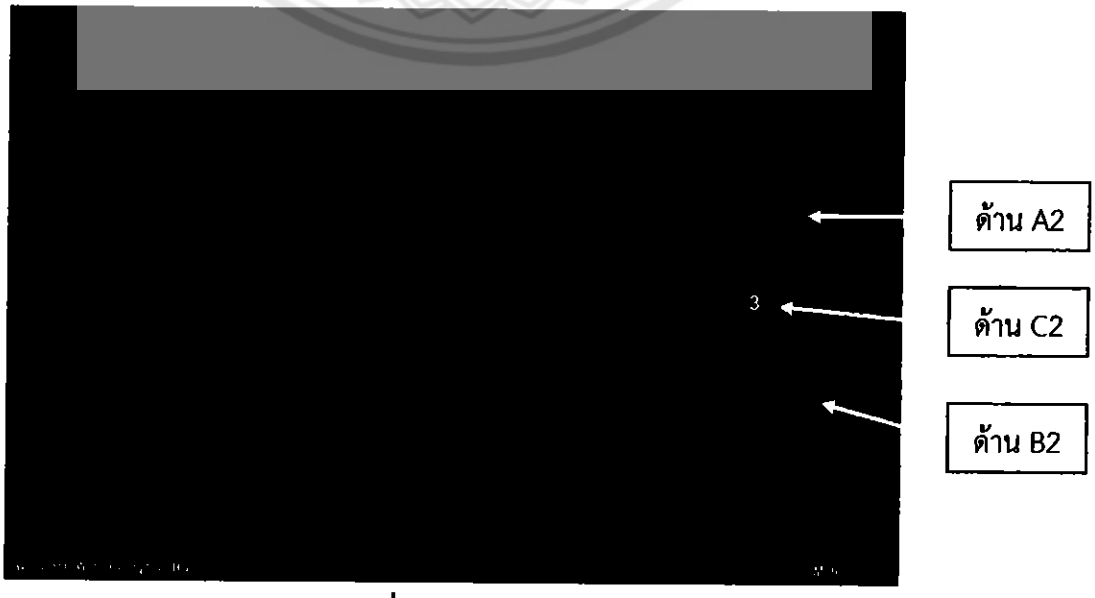
เป็นการวิเคราะห์ขนาดของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงานที่รองแก้วว่าจากที่ได้ทำการออกแบบไว้โดยใช้โปรแกรม Mastercam x4 แล้วได้ทำการกัดได้แม่พิมพ์ออกมา แล้วทำการทดลองอัดขึ้นรูปได้ชิ้นงานที่รองแก้วออกมานั้นมีขนาดเท่ากันทั้ง 3 ส่วนหรือไม่

4.7.2.1 การวัดขนาดแบบ

จะเริ่มจากการวัดขนาดของแบบก่อน เพราะเป็นขั้นตอนแรกในการทำแม่พิมพ์ ซึ่งได้ทำการวัดขนาด ด้าน A, ด้าน B และด้าน C ดังรูปที่ 4.40 และ 4.41 โดยแสดงค่าในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.40 ขนาดแบบแม่พิมพ์แผ่นล่าง



รูปที่ 4.41 ขนาดแบบแม่พิมพ์แผ่นบน

หมายเหตุ: ด้าน A1, ด้าน B1, ด้าน C1 เป็นเส้นขอบนอกของแม่พิมพ์แผ่นล่าง
ด้าน A2, ด้าน B2, ด้าน C2 เป็นเส้นขอบในของแม่พิมพ์แผ่นบน

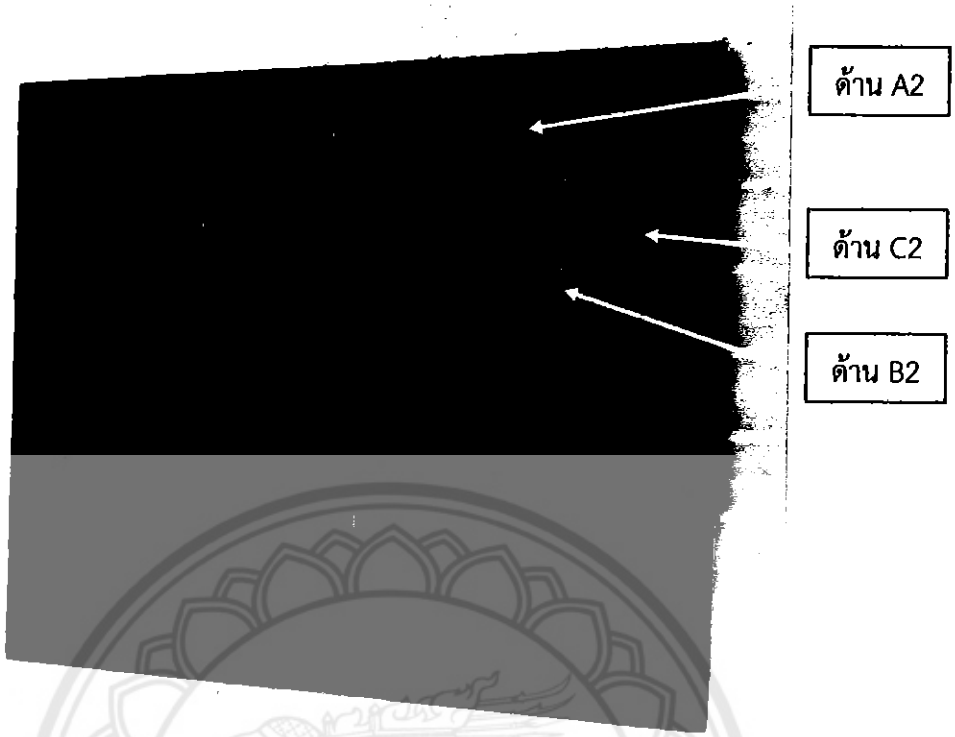
ตารางที่ 4.1 ขนาดแบบ

รูปที่	แบบ (มม.)					
	ขอบนอก			ขอบใน		
	ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
1	28.99	70	5	24.85	60	3
Average	28.99	70	5	24.85	60	3

4.7.2.2 การวัดขนาดแม่พิมพ์

จากที่ได้ทำการวัดขนาดของแบบ แล้วก็ทำการวัดขนาดของแม่พิมพ์ เพราะเมื่อได้แบบที่ต้องการแล้วก็นำไปทำการกัดบนเครื่องซีเอ็นซีได้แม่พิมพ์ออกมา แต่ขนาดของแม่พิมพ์ที่ได้กัดออกมาจะได้ตรงตามแบบหรือไม่ต้องมาทำการวัดขนาดอีกครั้ง ซึ่งได้ทำการวัดขนาด ด้าน A, ด้าน B และด้าน C ดังรูปที่ 4.42 และ 4.43 โดยแสดงค่าในตารางที่ 4.2

รูปที่ 4.42 ขนาดแม่พิมพ์แผ่นล่าง



รูปที่ 4.43 ขนาดแม่พิมพ์แผ่นบน

หมายเหตุ: เส้นสีเขียว คือ เส้นขอบนอก
เส้นสีแดง คือ เส้นขอบใน

ตารางที่ 4.2 ขนาดแม่พิมพ์

รูปที่	แม่พิมพ์ (มม.)					
	ขอบนอก			ขอบใน		
	ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
1	29.01	72.58	4.65	24.07	58.82	2.81
2	28.24	72.37	4.91	23.89	58.71	2.85
3	29.33	72.63	4.77	23.7	58.79	2.72
4	28.96	72.63	4.89	23.74	58.63	2.85
Average	28.885	72.5525	4.805	23.85	58.7375	2.8075

4.7.2.3 การวัดขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

จากที่ได้ทำการวัดขนาดของแบบ, ของแม่พิมพ์ แล้วก็มาทำการวัดขนาดของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองอัดขึ้นรูปว่ามีขนาดเท่ากับแบบแบบและแม่พิมพ์หรือไม่ ซึ่งได้ทำการวัดขนาด ด้าน A, ด้าน B และด้าน C ดังรูปที่ 4.44 และ 4.45 โดยแสดงค่าในตารางที่ 4.3

แล้วได้ทำการทดลองอัดขึ้นรูปชิ้นงานที่รองแก้วจำนวน 30 ครั้ง เพื่อมาทำการวัดขนาด โดยคำนวณหาค่าความเชื่อมั่นว่าการทดลองอัดจำนวน 30 ครั้งมีค่าความเชื่อมั่นสูงพอหรือไม่

สูตร KR – 21

$$r_{tt} = \frac{K}{K-1}\left[1-\overline{X}\left\{\frac{K-\overline{X}}{KS_t^2}\right\}\right] \qquad (4.1)$$

เมื่อ r_{tt} หมายถึง ค่าความเชื่อมั่น

K หมายถึง จำนวนข้อ

$\overline{X}$ หมายถึง คะแนนเฉลี่ย

S_t^2 หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

วิธีทำ K = 120, $\overline{X}$ = 186.69925, S_t^2=4848.59

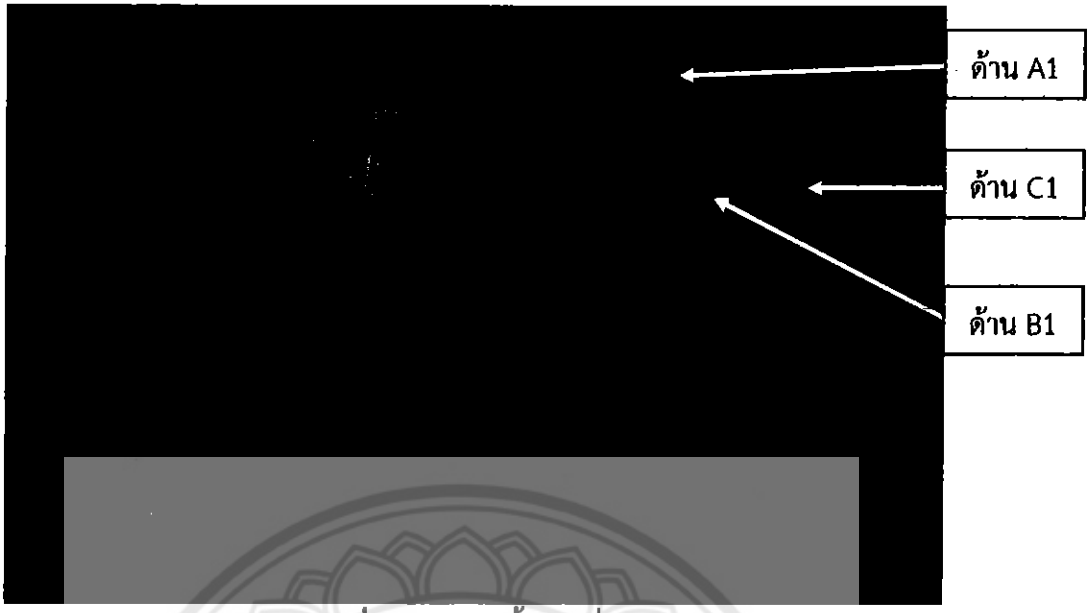
$$r_{tt} = \frac{120}{120-1}\left[1-186.69925\left\{\frac{120-186.69925}{120\times 4848.59}\right\}\right]$$

$$= 0.75$$

นั่นคือ การทดลองนี้มีความเชื่อมั่น 0.75

แปลความหมายได้ว่า การทดลองนี้มีความเชื่อมั่นในระดับสูง

ดังนั้น การทดลองอัดขึ้นรูปชิ้นงาน 30 ครั้ง จึงเพียงพอสำหรับการนำมาวัดขนาดเพื่อเปรียบเทียบกับขนาดของแบบและของแม่พิมพ์



รูปที่ 4.44 ขนาดชิ้นงานที่รองแก้วขอบนอก

รูปที่ 4.45 ขนาดชิ้นงานที่รองแก้วขอบใน

ตารางที่ 4.3 ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	รูปที่	ชิ้นงานที่รองแก้ว (มม.)					
		ขอบนอก			ขอบใน		
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
1	1	29.37	71.4	4.82	22.66	57.44	2.73
	2	28.41	71.57	4.67	22.85	55.87	2.69
	3	28.97	71.31	4.67	22.74	56.42	2.61
	4	28.78	71.4	4.79	23.96	56.19	2.68
2	1	28.91	71.4	4.65	23.87	56.16	2.7
	2	29.04	71.64	4.74	23.51	56.5	2.67
	3	29.16	71.62	4.94	23.73	56.1	2.61
	4	28.77	71.54	4.7	23.19	56.22	2.75
3	1	28.37	70.82	4.75	23.34	55.85	2.86
	2	28.44	70.26	4.73	23.41	55.94	2.78
	3	28.85	71.46	4.73	23.74	56.4	2.77
	4	28.78	70.62	4.96	23.45	56.35	2.62
4	1	29.23	71.82	4.84	23.75	55.89	2.56
	2	28.76	71.27	4.73	23.25	56.72	2.49
	3	28.56	71.92	4.28	23.63	55.23	2.96
	4	29.48	71.36	4.79	23.46	55.67	2.51
5	1	28.83	71.24	4.89	23.73	55.35	2.48
	2	28.75	71.82	4.46	23.62	56.52	2.73
	3	28.93	71.73	4.93	23.34	55.92	2.45
	4	29.35	71.13	4.78	23.51	55.35	2.93
6	1	28.71	71.45	4.67	23.48	56.89	2.46
	2	28.74	71.73	4.69	23.73	56.83	2.23
	3	28.93	71.34	4.75	23.27	56.34	2.57
	4	28.64	71.58	4.59	23.86	55.12	2.35

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	รูปที่	ชิ้นงานที่รองแก้ว (มม.)					
		ขอบนอก			ขอบใน		
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
7	1	29.18	71.39	4.89	23.41	55.83	2.84
	2	29.84	70.63	4.96	23.67	55.37	2.9
	3	28.28	70.27	4.86	23.72	56.62	2.76
	4	28.85	70.83	4.95	23.26	56.35	2.25
8	1	28.48	71.27	4.83	23.22	55.32	2.85
	2	29.51	71.37	4.52	23.53	56.27	2.38
	3	29.17	71.35	4.69	23.46	55.12	2.57
	4	28.32	71.56	4.28	23.83	55.92	2.41
9	1	28.03	71.92	4.57	23.52	56.27	2.59
	2	28.73	71.38	4.93	23.16	56.83	2.43
	3	29.14	71.27	4.58	23.62	56.65	2.82
	4	28.15	71.48	4.71	23.51	55.24	2.49
10	1	28.46	71.49	4.92	22.89	56.82	2.58
	2	28.83	71.19	4.68	22.75	55.91	2.51
	3	29.17	71.59	4.93	22.79	55.45	2.62
	4	28.36	71.52	4.85	23.24	56.73	2.89
11	1	28.1	70.27	4.56	23.79	56.85	2.35
	2	28.62	70.58	4.63	23.47	55.64	2.58
	3	28.35	71.84	4.69	23.15	55.63	2.43
	4	28.93	70.52	4.95	23.37	56.12	2.85
12	1	29.18	71.48	4.79	23.72	55.04	2.69
	2	28.45	71.23	4.54	23.61	55.81	2.58
	3	28.72	71.36	4.74	23.47	56.26	2.38
	4	28.93	71.49	4.83	23.5	56.92	2.56

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	รูปที่	ชิ้นงานที่รองแก้ว (มม.)					
		ขอบนอก			ขอบใน		
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
13	1	28.46	71.28	4.72	23.51	55.48	2.47
	2	28.72	71.52	4.76	23.93	55.36	2.84
	3	28.47	71.28	4.54	23.46	56.29	2.63
	4	29.35	71.36	4.94	23.54	55.64	2.59
14	1	28.19	70.36	4.85	23.57	55.76	2.49
	2	29.38	71.92	4.38	23.62	55.34	2.62
	3	28.48	71.25	4.89	23.71	55.3	2.57
	4	28.58	71.68	4.67	23.27	56.73	2.82
15	1	28.83	71.16	4.37	23.35	56.17	2.58
	2	28.56	71.37	4.47	23.45	56.28	2.47
	3	29.16	71.38	4.78	23.82	55.94	2.52
	4	28.36	71.39	4.92	23.73	55.83	2.57
16	1	28.93	70.52	4.73	23.48	55.62	2.41
	2	28.05	70.95	4.56	23.86	56.26	2.68
	3	28.37	71.09	4.74	23.27	56.46	2.57
	4	28.92	70.45	4.76	23.63	55.73	2.58
17	1	28.67	71.52	4.83	23.57	56.21	2.84
	2	28.34	71.93	4.95	23.46	55.82	2.72
	3	29.64	71.63	4.26	23.24	56.38	2.69
	4	28.28	71.46	4.64	23.89	55.75	2.42
18	1	28.38	71.38	4.97	22.94	55.35	2.65
	2	28.48	71.39	4.82	22.67	55.26	2.59
	3	28.94	71.92	4.67	23.48	56.39	2.39
	4	28.56	71.38	4.37	23.57	55.26	2.74

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	รูปที่	ชิ้นงานที่รองแก้ว (มม.)					
		ขอบนอก			ขอบใน		
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
19	1	28.72	71.26	4.57	23.72	55.61	2.83
	2	28.64	71.36	4.86	23.34	55.09	2.59
	3	29.19	71.56	4.71	23.63	56.12	2.46
	4	28.46	71.69	4.54	23.46	55.51	2.39
20	1	28.38	70.38	4.38	23.53	55.42	2.76
	2	28.57	70.18	4.93	23.74	55.37	2.58
	3	29.24	71.89	4.72	23.47	55.71	2.87
	4	28.93	70.53	4.63	23.61	56.15	2.63
21	1	29.26	71.37	4.39	23.47	56.09	2.84
	2	28.83	71.38	4.84	23.84	55.14	2.53
	3	28.57	71.72	4.65	23.36	55.45	2.73
	4	29.75	71.49	4.93	23.93	55.64	2.47
22	1	28.38	71.93	4.67	23.18	55.36	2.91
	2	28.52	71.58	4.62	23.57	56.72	2.62
	3	29.15	71.28	4.52	23.62	56.24	2.87
	4	29.54	71.31	4.91	23.27	55.56	2.56
23	1	28.25	71.02	4.58	23.58	55.39	2.38
	2	28.56	71.73	4.23	23.54	56.62	2.74
	3	28.84	71.83	4.78	23.51	56.15	2.69
	4	28.57	71.39	4.93	23.73	56.79	2.65
24	1	29.45	71.36	4.56	23.96	55.89	2.86
	2	28.62	71.45	4.85	23.26	55.74	2.59
	3	29.16	71.48	4.75	23.84	55.87	2.84
	4	28.73	71.9	4.63	23.46	56.43	2.42

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ขนาดชิ้นงานที่รองแก้ว

การทดลองครั้งที่	รูปที่	ชิ้นงานที่รองแก้ว (มม.)					
		ขอบนอก			ขอบใน		
		ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
25	1	28.56	71.56	4.38	23.76	55.12	2.56
	2	28.98	70.41	4.59	23.62	56.49	2.87
	3	28.67	70.37	4.37	23.14	56.24	2.47
	4	28.13	70.62	4.58	23.69	55.72	2.59
26	1	29.23	71.93	4.94	23.25	55.61	2.48
	2	28.63	71.52	4.67	23.74	55.82	2.52
	3	28.82	71.49	4.63	2.82	56.42	2.67
	4	28.63	71.18	4.83	23.19	56.63	2.83
27	1	29.42	71.82	4.39	23.79	55.81	2.28
	2	28.03	71.39	4.85	23.53	56.32	2.45
	3	28.35	71.91	4.68	23.84	55.73	2.61
	4	28.83	71.54	4.36	23.68	55.97	2.82
28	1	29.27	70.52	4.91	23.51	55.62	2.67
	2	28.73	70.93	4.67	23.67	56.09	2.35
	3	28.38	71.85	4.59	23.63	55.86	2.62
	4	29.13	71.03	4.83	23.18	56.65	2.89
29	1	28.24	71.38	4.72	23.93	55.98	2.56
	2	28.46	71.39	4.63	23.72	55.42	2.52
	3	28.45	71.59	4.67	23.56	56.72	2.41
	4	28.16	71.32	4.89	23.63	55.91	2.94
30	1	29.17	71.29	4.62	23.53	55.85	2.73
	2	28.36	70.58	4.75	23.81	56.12	2.61
	3	28.62	71.84	4.56	23.23	56.55	2.75
	4	29.12	71.35	4.39	23.57	55.46	2.35
Average		28.761	71.318	4.6975	23.32833	55.97517	2.61925

4.7.2.4 ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดขนาด

ค่าเฉลี่ยได้มาจากการการวัดขนาดของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงานที่รองแก้ว ซึ่งมีค่าตามที่ได้แสดงในตาราง 4.4, 4.5 และ 4.6 เพื่อนำไปหาค่าความคลาดเคลื่อนต่อไป

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของแบบ

	แบบ (มม.)					
	ขอบนอก			ขอบใน		
	ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
Average	28.99	70	5	24.85	60	3

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของแม่พิมพ์

	แม่พิมพ์ (มม.)					
	ขอบนอก			ขอบใน		
	ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
Average	28.885	72.5525	4.805	23.85	58.7375	2.8075

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานที่รองแก้ว

	ชิ้นงานที่รองแก้ว (มม.)					
	ขอบนอก			ขอบใน		
	ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
Average	28.761	71.318	4.6975	23.32833	55.97517	2.61925

4.7.2.5 หาร้อยละความคลาดเคลื่อน

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงานที่รองแก้ว ก็นำมาหาร้อยละความคลาดเคลื่อน แล้วนำมาเปรียบเทียบกันว่ามีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ได้กำหนดไว้ในแบบมากน้อยเพียงใด โดยทำเป็นตารางเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ

สูตร $$\text{Percent errors} = \frac{Xn - Yn}{Yn} \times 100 \qquad (4.2)$$

Yn = ค่าที่แท้จริงของสิ่งที่วัด

Xn = ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด

ตารางที่ 4.7 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแบบเทียบกับแม่พิมพ์

ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแบบเทียบกับแม่พิมพ์					
ขอบนอก			ขอบใน		
ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
-0.3622	3.6464	-3.9	-4.0241	-2.1042	-6.4167

ตารางที่ 4.8 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแบบเทียบกับชิ้นงานที่รองแก้ว

ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแบบเทียบกับชิ้นงานที่รองแก้ว					
ขอบนอก			ขอบใน		
ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
-0.7899	1.8829	-6.05	-6.1234	-6.7081	-12.6917

ตารางที่ 4.9 ร้อยละความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานที่รองแก้วเทียบกับแม่พิมพ์

ร้อยละความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานที่รองแก้วเทียบกับแม่พิมพ์					
ขอบนอก			ขอบใน		
ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
0.4311	1.73098	2.2885	2.2362	4.9349	7.1872

4.7.2.6 หาร้อยละการหดตัว

การหาร้อยละการหดตัวของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงานที่รองแก้วก็เพื่อหาค่าการหดตัวของทั้งสามอย่างว่าหดตัวไปจากแบบมากน้องเพียงใด

สูตรคำนวณค่าหดตัวของชิ้นงาน

$$\text{ร้อยละการหดตัว} = \frac{\text{ขนาดของแม่พิมพ์} - \text{ขนาดของชิ้นงาน}}{\text{ขนาดของแม่พิมพ์}} \times 100 \qquad (4.3)$$

ตารางที่ 4.10 ร้อยละการหดตัว

	ด้าน A1	ด้าน B1	ด้าน C1	ด้าน A2	ด้าน B2	ด้าน C2
แบบเทียบกับแม่พิมพ์	0.3622	-3.6464	3.9	4.0241	2.1042	6.4167
แบบเทียบกับชิ้นงานที่รองแก้ว	0.7899	-1.8829	6.05	6.1234	6.7081	12.6917
ชิ้นงานที่รองแก้วเทียบกับแม่พิมพ์	-0.4311	-1.731	-2.2885	-2.2362	-4.9349	-7.1872

สรุปผลการวิเคราะห์

จากค่าเฉลี่ยที่ได้จากการวัดขนาดของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงานที่รองแก้ว นำมาเปรียบเทียบเป็นคู่หาร้อยละความคลาดเคลื่อนและหาร้อยละการหดตัว พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง

ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแบบกับร้อยละความคลาดเคลื่อนของแม่พิมพ์ในแต่ละด้านได้ค่าดังนี้ ด้าน A1 = -0.3622, ด้าน B1 = 3.6464, ด้าน C1 = -3.9, ด้าน A2 = -4.0241, ด้าน B2 = -2.1042 และ ด้าน C2 = -6.4167 ค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ -2.193 ร้อยละการหดตัวในแต่ละด้านได้ค่าดังนี้ ด้าน A1 = 0.362, ด้าน B1 = -3.6464, ด้าน C1 = 3.9, ด้าน A2 = 4.0241, ด้าน B2 = 2.1042 และ ด้าน C2 = 6.4167 ค่าเฉลี่ยของร้อยละการหดตัวเท่ากับ 2.193

ร้อยละความคลาดเคลื่อนของแบบกับร้อยละความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานที่รองแก้วในแต่ละด้านได้ค่าดังนี้ ด้าน A1 = -0.7899, ด้าน B1 = 1.8829, ด้าน C1 = -6.05, ด้าน A2 = -6.1234, ด้าน B2 = -6.7081 และ ด้าน C2 = -12.6917 ค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อนเท่ากับ -5.08 ร้อยละการหดตัวในแต่ละด้านได้ค่าดังนี้ ด้าน A1 = 0.7899, ด้าน B1 = -1.8829, ด้าน C1 = 6.05, ด้าน A2 = 6.1234, ด้าน B2 = 6.7081 และ ด้าน C2 = 12.6917 ค่าเฉลี่ยของร้อยละการหดตัวเท่ากับ 5.08

ร้อยละความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานที่รองแก้วกับร้อยละความคลาดเคลื่อนของแม่พิมพ์ในแต่ละด้านได้ค่าดังนี้ ด้าน A1 = 0.4311, ด้าน B1 = 1.73, ด้าน C1 = 2.2885, ด้าน A2 = 2.2362, ด้าน B2 = 4.9349 และ ด้าน C2 = 7.1872 ค่าเฉลี่ยของร้อยละความคลาดเคลื่อน

เท่ากับ 3.135 ร้อยละการหดตัวในแต่ละด้านได้ค่าดังนี้ ด้าน A1 = -0.4311, ด้าน B1 = -1.731, ด้าน C1 = -2.2885, ด้าน A2 = -2.2362, ด้าน B2 = -4.9349 และ ด้าน C2 = -7.1872 ค่าเฉลี่ยของร้อยละการหดตัวเท่ากับ -3.135 จากค่าที่ได้เกิดจากชิ้นงานมีการหดตัวเนื่องจากอุณหภูมิหลังการอัดมีการเย็นตัวจึงทำให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวหลังการอัดได้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 ในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปเพื่อใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) โดยใช้โปรแกรม Mastercam x4 (CAD) ในการออกแบบแม่พิมพ์ซึ่งได้ทำการออกแบบเป็นรูปที่รองแก้วและใช้โปรแกรม Mastercam x4 (CAM) เป็นโปรแกรมที่ใช้สร้างเส้นทางเดินของดอกกัดในการจำลองการทำงานของเครื่องกัดซีเอ็นซีแล้วสร้าง NC-code เพื่อทำงานร่วมกับเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 แบบ 3 แนวแกน แล้วได้แม่พิมพ์ต้นแบบที่ใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) ออกมา

5.1.2 ในการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ทางผู้ดำเนินโครงงานใช้วัสดุเหล็กแผ่น (P20) ขนาดความกว้าง 200 มิลลิเมตร ความยาว 200 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น ใช้งานกับเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) และใช้พอลิเมอร์ชนิดพอลิพรอพีลีน (Polypropylene: PP) เป็นวัสดุในการผลิตชิ้นงานที่รองแก้ว

5.1.2.1 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ทั้ง 2 แผ่น แบ่งเป็นแผ่นบนและแผ่นล่าง

5.1.2.2 อุปกรณ์ที่ช่วยปลดล็อคแม่พิมพ์ใช้สกรูจำนวน 2 ตัวและประแจหกเหลี่ยม จำนวน 2 ตัว

5.1.2.3 ผลจากการทดลองพบว่า เมื่อใช้อุปกรณ์ช่วยปลดล็อคแม่พิมพ์สามารถแยกแม่พิมพ์ทั้ง 2 แผ่นออกจากกันและปลดชิ้นงานตัวอย่างที่รองแก้วออกมาได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

5.1.3 จากที่ได้ทำการวัดขนาดของแบบ, แม่พิมพ์และชิ้นงานที่รองแก้ว แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำผลไปหาร้อยละความคลาดเคลื่อนและร้อยละการหดตัวเปรียบเทียบกันในแต่ละคู่ ซึ่งค่าที่ได้มีดังนี้ ค่าเฉลี่ยร้อยละความคลาดเคลื่อนของแบบกับแม่พิมพ์เท่ากับ -2.193, แบบกับ ชิ้นงานที่รองแก้วเท่ากับ -5.08, ชิ้นงานที่รองแก้วกับแม่พิมพ์เท่ากับ 3.135 ค่าเฉลี่ยของร้อยละการหดตัวของแบบกับแม่พิมพ์เท่ากับ 2.193, แบบกับชิ้นงานที่รองแก้ว เท่ากับ 5.08, ชิ้นงานที่รองแก้วกับแม่พิมพ์เท่ากับ -3.135 จะเห็นได้ว่าจะมีทั้งค่าบวกและค่าลบ เพราะอาจจะเกิดจากการวัดค่าต่างๆซึ่งทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าบางเล็กน้อย เมื่อนำไปแทนในสูตรการคำนวณก็เลยทำให้ได้ค่าทั้งบวกและลบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในขั้นตอนการปรับปรุง พัฒนาแม่พิมพ์ เพื่อให้มีความสะดวกในการทำงานมากขึ้น ควรจะพัฒนาแม่พิมพ์ต่อเช่น ทำตัวช่วยในการปลดล็อคแม่พิมพ์ใหม่ให้สามารถปลดล็อคแม่พิมพ์ออกได้ครั้งเดียวพร้อมๆกัน เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการใช้งาน

5.2.2 อาจจะใช้โปรแกรมอื่นแทนโปรแกรม Mastercam x4 ก็ได้ถ้าหากไม่มีโปรแกรม

Mastercam x4 แค่มีโปรแกรมที่สามารถทำการออกแบบ (CAD) และจำลองเส้นทางเดินของดอกกัด (CAM) เพื่อสร้าง N-code ได้ก็สามารถใช้แทนได้เหมือนกันเช่น โปรแกรม Artcam หรือโปรแกรมอื่นๆก็ได้

เอกสารอ้างอิง

กฤติกร สุขศิริพงศ์วาสี (ผู้เรียบเรียง). (ม.ป.ป.). **เอกสารการอบรมเรื่องระบบเซอร์โวและการบำรุงรักษาเครื่องจักรซีเอ็นซี**. สืบค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2553, จาก www.bpcd.net/machine/CNC_training/CNC_SDI.pdf.

เกียรติสุดา ศรีสุข. **ระเบียบวิธีวิจัย**. เชียงใหม่: โรงพิมพ์ครองช่าง, (2552).

โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (สาขาแม่พิมพ์). (ม.ป.ป.). **เทคโนโลยีแม่พิมพ์**. สืบค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2553, จาก http://library.dip.go.th/multim4/eb/EB%20122.2%20ม47.doc.

บริษัท คูลซอฟท์ จำกัด. (ม.ป.ป.). Mastercam X4. สืบค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2553, จาก www.mastercamthaitraining.com/

บริษัท ชนะพานิช สตีล จำกัด. (ม.ป.ป.). เหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติก (Plastic Mould Steel). สืบค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2553, จาก www.chanasteel.com/spec/plastic.htm.

วิลเลียม เอฟ สมิธ. **วัสดุวิศวกรรม**. (รศ.แม้น อมรสิทธิ์, ผศ.ดร.สมชัย อัครทิวา, ผู้แปล). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ทอป/แมคกรอ-ฮิล, 2547

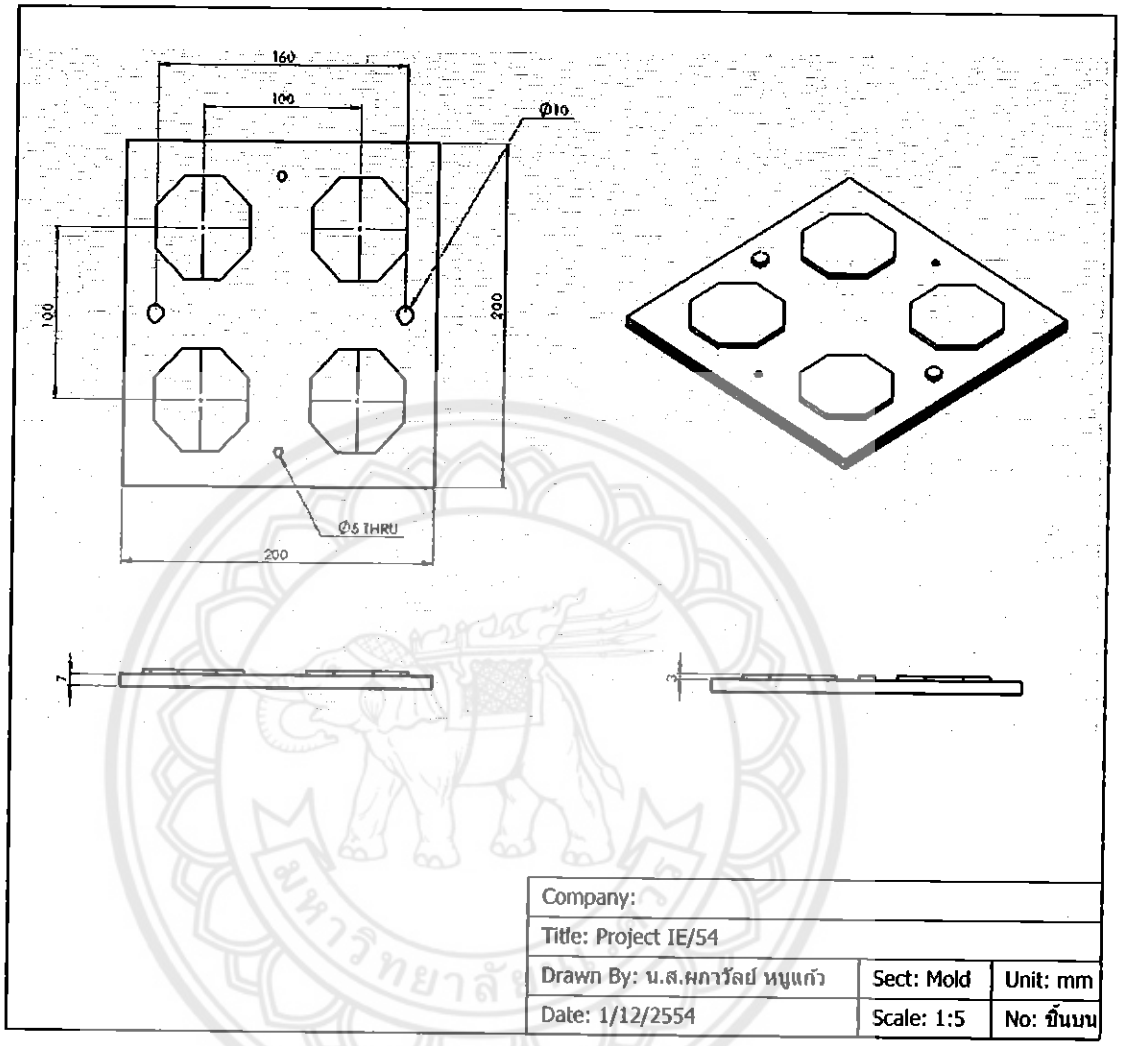
ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์. **คู่มือปฏิบัติการ รายวิชา 309372 ปฏิบัติการกระบวนการผลิตวัสดุ (Materials Processing Laboratory)**. ภาคเรียนที่ 1/2554. 2554.

สมนึก บุญพาไสว. (ม.ป.ป.). CAD/CAM/CAE/CNC กับอุตสาหกรรมการผลิต. สืบค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2553,จาก www.ipst.ac.th/design/document/CAD-CAM-CAE-CNC.pdf.

ภาคผนวก ก

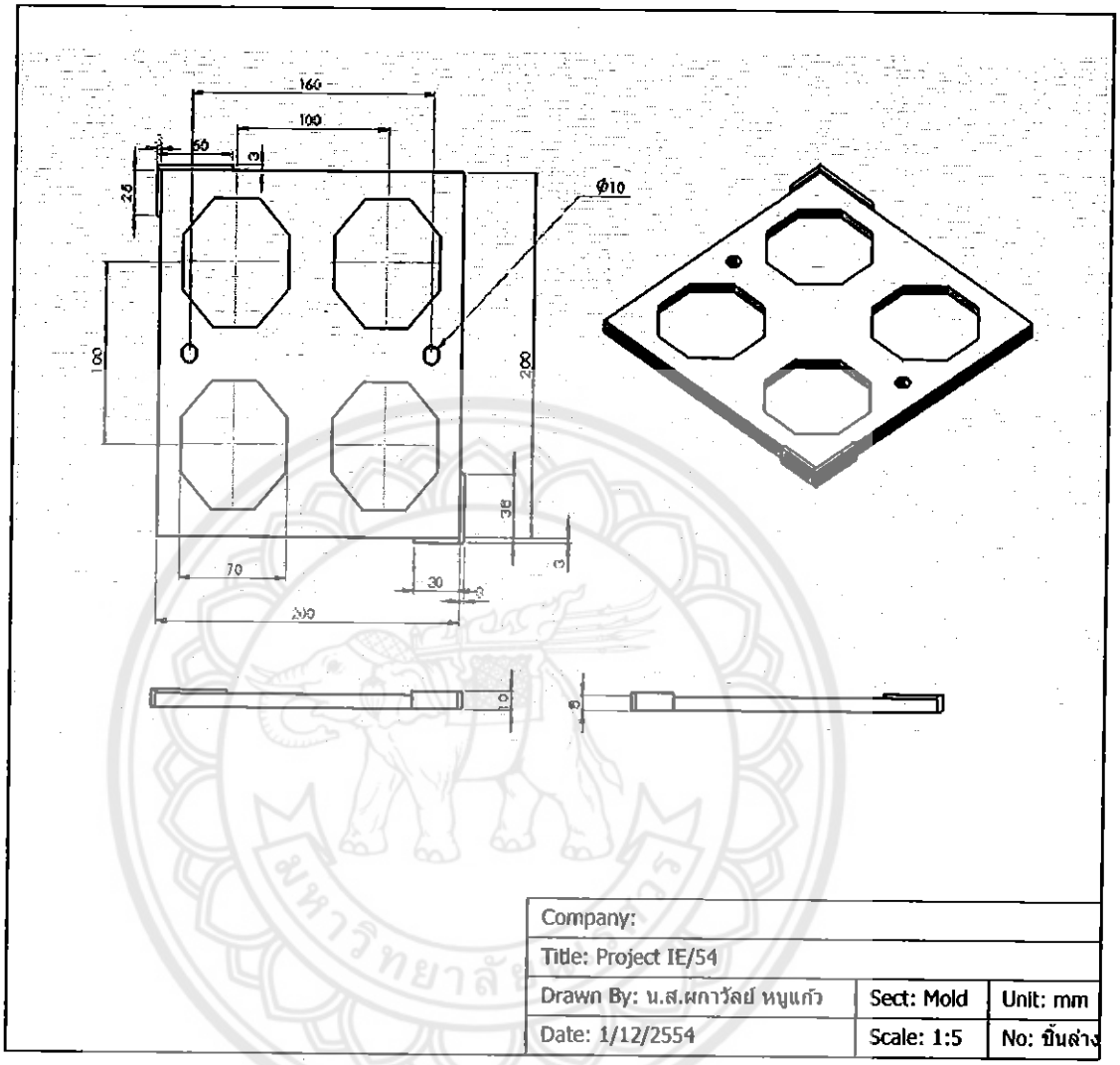
ภาพแสดงส่วนประกอบของแม่พิมพ์

แม่พิมพ์แผ่นบน



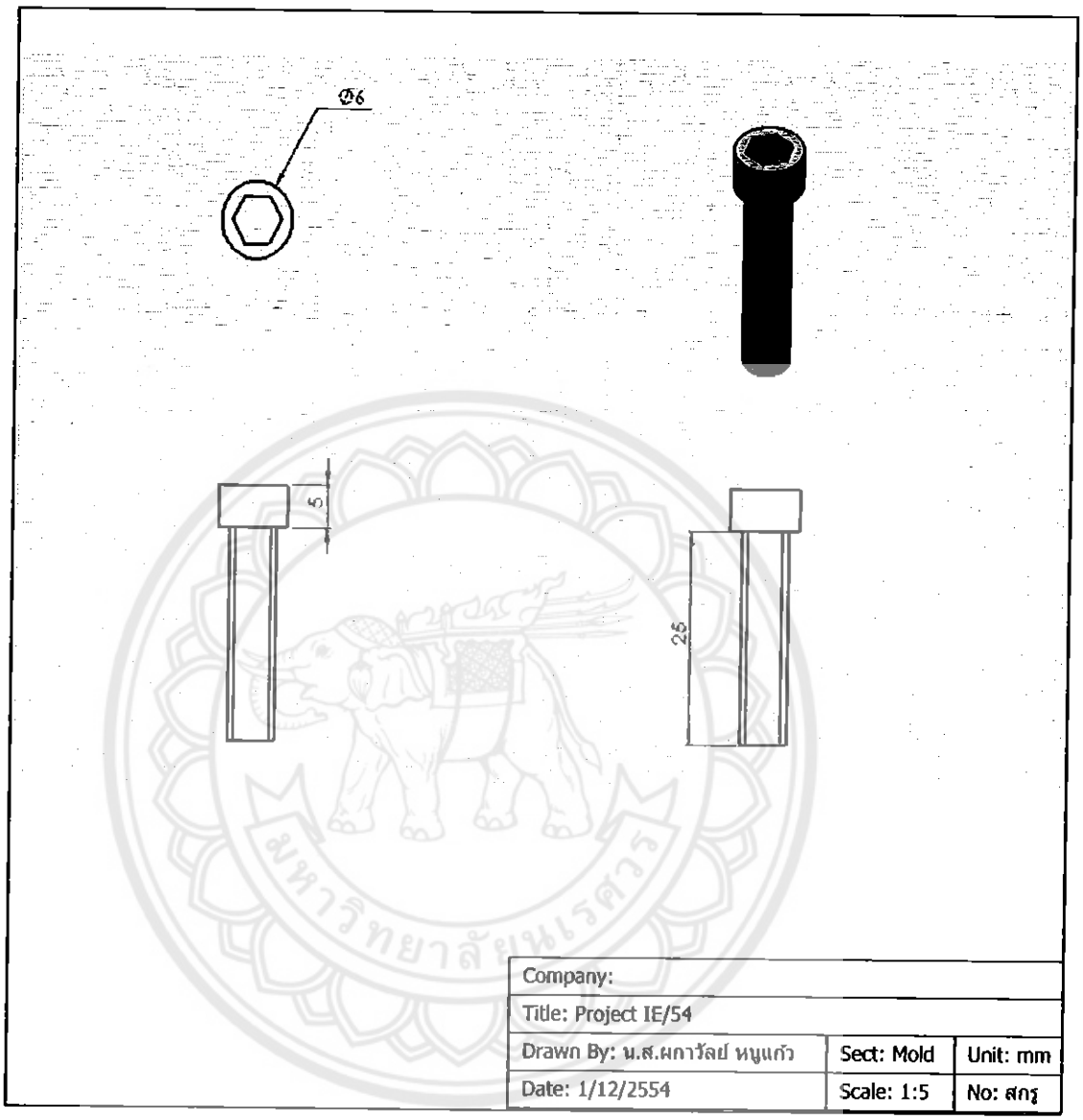
รูปที่ ก.1 แม่พิมพ์แผ่นบน

แม่พิมพ์แผ่นล่าง

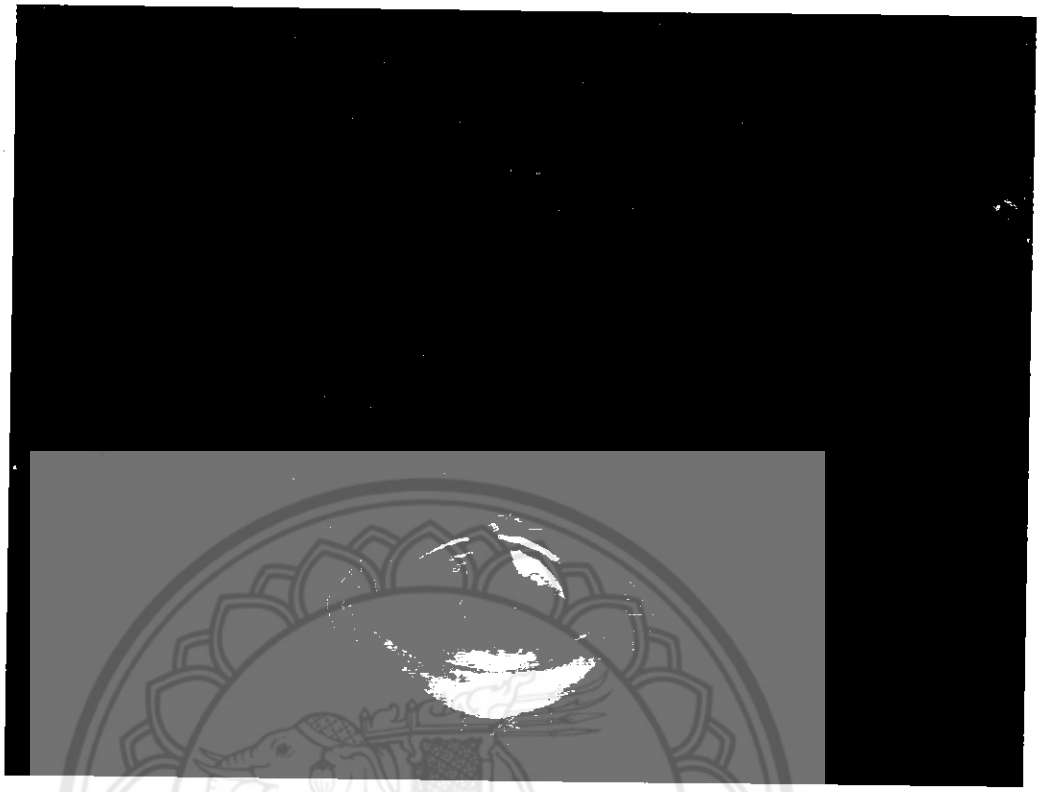


รูปที่ ก.2 แม่พิมพ์แผ่นล่าง

สกรู



รูปที่ ก.3 สกรู



รูปที่ ก.4 รูปการใช้งานที่รองแก้ว