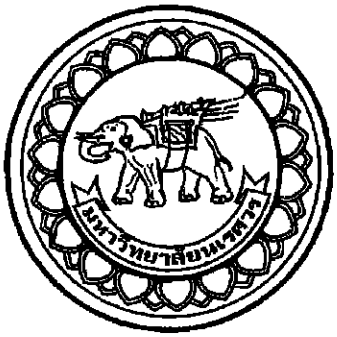


การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นงานทดสอบตาม มาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790

Plastic Injection Mold Design and Creation Mold for the standard specimen ASTM D256 and ASTM D790

นายวัชรพงศ์ พัวศรี รหัส 50371056

นายอาทิตย์ คำวัง รหัส 50371469

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 1592180
เลขเรียกหนังสือ ว5
มหาวิทยาลัยนเรศวร 2378 ก 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายวัชรพงศ์ พัวศรี รหัส 50371056
	นายอาทิตย์ คำวัง รหัส 50371469
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์
	ครูช่างประเทือง โมรารายย
	ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง
สาขาวิชา	วิศวกรรมศาสตร์
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น)

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน)

.....กรรมการ
(ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล)

.....กรรมการ
(อาจารย์ธนา บุญฤทธิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายวัชรพงศ์ พัวศรี รหัส 50371056
	นายอาทิตย์ คำวัง รหัส 50371469
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น
ที่ปรึกษาร่วมโครงงาน	อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์
	ครูช่างประเทือง โมรารายย
	ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง
สาขาวิชา	วิศวกรรมศาสตร์
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อให้ได้ชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 เพื่อใช้ในการทดสอบหาแรงกระแทกแบบ (Izod Type Test Specimen) และ ASTM D790 เพื่อใช้ในการทดสอบหาแรงดัดงอ สำหรับ (various Support Span-to-Depth Ratios Test Method I 3-point Loading) โดยใช้เม็ดพลาสติกชนิด Polypropylene (PP) ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน และใช้เครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY 50R ในการฉีด วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ คือ เหล็กแผ่น P20 โดยใช้โปรแกรม SolidWork 2007 (CAD) ช่วยออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ใช้โปรแกรม Mastercam X4 (CAM) เพื่อช่วยในการจำลองการเคลื่อนที่ของทางเดินมีด ซึ่งใช้ร่วมกับเครื่องกัดระบบซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 ในการกัดร่องทางเดิน (Runner) และทางเข้าของน้ำพลาสติก (Gate) และใช้เครื่อง Wire cut ตัดเฉือนชิ้นงานที่เป็นทองแดงให้เป็นรูปชิ้นงาน ASTM D256 และ ASTM D790 จากนั้นนำทองแดงที่เป็นรูปชิ้นงานมาทำการ (Spark) ให้เกิดเบ้าอิมเพรสชั่นโดยใช้เครื่อง Electrical Discharge Machining (EDM) และเครื่องมือเครื่องจักรกลต่างๆ ที่ใช้สร้างชิ้นส่วนประกอบ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

จากการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เป็นชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790 สร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ตามที่ได้ออกแบบไว้ เนื่องจากได้คำนวณขนาดของความยาว (C) ของชิ้นงาน ASTM D256 โดยใช้ค่าน้อยที่สุด (Minimum) โดยไม่ได้คำนวณค่าระหว่างกึ่งกลาง (Mean) จึงทำให้ค่าเผื่อที่คำนวณน้อยเกินไปในขั้นตอนการออกแบบ การคำนวณของการออกแบบควรจะกำหนดเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกชนิด โพลิโพรพิลีน (PP) ให้มากกว่า 2% เพื่อที่จะให้ได้ขนาดของอิมเพรสชั่น และขนาด ของชิ้นงานออกมาได้ใกล้เคียงกับขนาดของจริง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินการวิจัยขอแสดงความขอบคุณ หน่วยงาน และสถาบันที่มีส่วนสำคัญที่ทำให้การจัดทำโครงงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ทำให้คณะผู้ดำเนินการวิจัยได้มีโอกาสในการทำโครงงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ อาจารย์สมเกียรติ อู่เงิน นักวิชาการพัฒนาฝีมือแรงงาน ระดับชำนาญการ สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาค 3 จังหวัดชลบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam X4 และใช้มือเครื่องจักร CNC

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ และใช้มือเครื่องจักร เครื่อง Wire Cut เครื่อง EDM และเครื่องฉีดพลาสติก

ขอขอบคุณ อาจารย์เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น ที่ได้ให้แนวความคิด อธิบาย คำแนะนำ แนวทางในการดำเนินการวิจัย การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น และวิธีการออกแบบแม่พิมพ์

ขอขอบคุณ อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ ที่ได้ให้แนวความคิด อธิบาย คำแนะนำ แนวทางในการดำเนินการวิจัย ในเรื่องพลาสติก และเอกสารเกี่ยวกับ มาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790

ขอขอบคุณ ครูช่างประเทือง โมราราย ที่ได้ให้แนวความคิด อธิบาย คำแนะนำแนวทางในการดำเนินการวิจัยและการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำวิจัย และวิธีการใช้เครื่องฉีดพลาสติก ตลอดจนการปรับปรุงการทำงานต่างๆ ด้วย

ขอขอบคุณ ครูช่างรณกฤต แสงผ่อง ที่ได้ให้แนวความคิด อธิบาย คำแนะนำ แนวทางในการดำเนินการวิจัย การแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำวิจัย และ ครูช่างธวัชชัย ชุลบุตร และครูช่างสาลี่ วัตถุภาพ ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้อาคารปฏิบัติการอุตสาหการ

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดามารดา ญาติพี่น้อง คณะอาจารย์ และเพื่อนๆ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอดจนกระทั่งบรรลุโครงงานวิจัยและสำเร็จการศึกษา จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี่ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม

นายวัชรพงศ์ พัวศรี

นายอาทิตย์ คำวัง

พฤศจิกายน 2554

สารบัญ

หน้า

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

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 หลักการและเหตุผล 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน 1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ 1
1.5 ขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย 2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย 2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานวิจัย 2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4
2.1 ทฤษฎีงานแม่พิมพ์พลาสติก 4
2.2 ASTM (American Society for Testing and Materials) 11
2.3 กรรมวิธีออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 15
2.4 วัสดุประเภทเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 19
2.5 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับพลาสติก 21
2.6 ทฤษฎีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ(CAD)และช่วยในการผลิต(CAM) . 23
2.7 ทฤษฎีโปรแกรม SolidWorks 2007 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ 25
2.8 ทฤษฎีโปรแกรม Mastercam X4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต 29
2.9 เครื่องจักร (Machinery) ที่ใช้ในการสร้างแม่พิมพ์ 31

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย 39
3.1 จัดทำข้อเสนอโครงงาน 39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐาน ASTM 39
3.3 ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับแม่พิมพ์ 42
3.4 ศึกษาการใช้โปรแกรม Solidworks 2007 43
3.5 ศึกษาการใช้โปรแกรม MasterCam x4 43
3.6 ศึกษาการใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 43
3.7 ทำการกัดแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี 43
3.8 ศึกษาการใช้งานเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY50M 43
3.9 ทำการทดสอบและฉีดพลาสติก 44
3.10 วิเคราะห์และสรุปผล 44
3.11 จัดทำเป็นรูปเล่มรายงาน 44

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 45
4.1 จัดทำข้อเสนอโครงงาน 45
4.2 การคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์ 45
4.3 การศึกษาการใช้โปรแกรม SolidWorks 2007 47
4.4 ศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam X4 52
4.5 ชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ 53
4.6 ศึกษาเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY 50R 57
4.7 วิเคราะห์ 58

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 66
5.1 สรุปผล 66
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 66
เอกสารอ้างอิง 67
ภาคผนวก ก 68
ภาคผนวก ข 89
ภาคผนวก ค 99
ประวัติผู้วิจัย 109

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน (Gantt Chart) 3

2.1 ตารางเทียบเกรดเหล็กตามมาตรฐาน 20

2.2 ตารางสมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ 22

2.3 ตารางหน้าที่การใช้งานเริ่มต้นแต่ละคำสั่งของโปรแกรม 27

3.1 ขนาดชิ้นงานทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM D790 41

4.1 การคำนวณขนาดของ ASTM D256 46

4.2 การคำนวณขนาดของ ASTM D790 47

4.3 การตรวจสอบขนาดอิมเพรสชั่นเทียบกับแบบแม่พิมพ์ ASTM D256 62

4.4 การตรวจสอบขนาดชิ้นงานเทียบกับขนาดมาตรฐาน ASTM D256 62

4.5 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานเทียบกับขนาดมาตรฐาน ASTM D256 63

4.6 การตรวจสอบขนาดอิมเพรสชั่นเทียบกับแบบแม่พิมพ์ ASTM D790 64

4.7 การตรวจสอบขนาดชิ้นงานเทียบกับขนาดมาตรฐาน ASTM D790 65

4.8 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานเทียบกับขนาดมาตรฐาน ASTM D790 65

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	4
2.2	ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	5
2.3	กระบวนการอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์	5
2.4	แม่พิมพ์อัด	6
2.5	แม่พิมพ์อัดฉีดและกระบวนการอัดฉีด	6
2.6	ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์อัดและอัดฉีด	7
2.7	แม่พิมพ์เป่าแบบ Extrusion และกระบวนการเป่าแบบ Extrusion	7
2.8	แม่พิมพ์เป่าแบบ Injection และกระบวนการเป่าแบบ Injection	8
2.9	พิมพ์เป่าแบบ Stretch และกระบวนการเป่าแบบ Stretch	8
2.10	ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์เป่า	8
2.11	กระบวนการผลิตงาน Extrusion	9
2.12	หัวฉีดที่ใช้ในงาน Extrusion	9
2.13	ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์งานรีด	10
2.14	แม่พิมพ์ที่ใช้ในงานเทอร์โมฟอร์มมิ่ง	10
2.15	ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์งานเทอร์โมฟอร์มมิ่ง	10
2.16	การใช้ CAD ในการออกแบบ	24
2.17	การใช้ CAM ในการสร้างรหัสจี (G-CODE)	25
2.18	หน้าต่างโปรแกรม	26
2.19	เลือกไอคอนที่ต้องการสร้าง	27
2.20	ส่วนประกอบต่าง ๆ ของโปรแกรม	28
2.21	หน้าต่างโปรแกรม	29
2.22	งานออกแบบ (Design)	30
2.23	งานผลิตชิ้นส่วน (Part)	31
2.24	เครื่องไส	32
2.25	เครื่องเจาะ	32
2.26	เครื่องกลึง	33
2.27	เครื่องกัด	33
2.28	เครื่องเจียระไนราบ	34
2.29	เหล็กแผ่นที่ถูกเจียรปาดหน้าเรียบ	34
2.30	ชิ้นงานเหล็กแผ่นที่ถูกเจียรปาดหน้าเรียบ	34
2.31	เครื่องเจียระไนกลม	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.32	เครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250	35
2.33	กัดชิ้นงานด้วยเครื่องจักร CNC รุ่น Mazak FJV-250	35
2.34	เครื่อง Wire cut	36
2.35	แผงควบคุมเครื่อง Wire cut	36
2.36	การตัดชิ้นงานทองแดง	36
2.37	ชิ้นงานทองแดงที่ได้จากการตัดใช้ทำชิ้นงาน ASTM D256	37
2.38	ชิ้นงานทองแดงที่ได้จากการตัดใช้ทำชิ้นงาน ASTM D790	37
2.39	เครื่อง EDM	37
2.40	แผงควบคุมเครื่อง EDM	38
2.41	การ Spark ทำรูปชิ้นงาน	38
2.42	แผ่นอิมเพรสชั่นที่ได้จากการกัด และ Spark	38
3.1	ชิ้นงาน ASTM D256	40
3.2	การทดสอบแรงกระแทก ASTM D256	40
3.3	ชิ้นงาน ASTM D790	41
3.4	ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์	42
4.1	แบบที่ได้จากการคำนวณของ ASTM D256 หน่วยเป็น มม.	46
4.2	แบบที่ได้จากการคำนวณของ ASTM D790 หน่วยเป็น มม.	47
4.3	แผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่	48
4.4	แผ่นรองด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่	48
4.5	แท่นรองแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่ มี 2 ชิ้น ซ้าย ขวา	49
4.6	แผ่นดันปลดชิ้นงาน	49
4.7	แผ่นยึดแผ่นดันปลดชิ้นงาน	49
4.8	แผ่นยึดด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่	49
4.9	แผ่นประกบเบ้าด้านอยู่กับที่	50
4.10	แผ่นยึดเบ้าด้านอยู่กับที่	50
4.11	เพลานำ	50
4.12	สลักดันกลับ	50
4.13	สลักปลดชิ้นงาน	51
4.14	สลักดึงชิ้นงานจากแกนรูฉีด	51
4.15	แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่เสร็จสมบูรณ์	51
4.16	ภาพตัดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 การใช้ CAM ในการสร้าง (NC- Code)	52
4.18 แผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่	53
4.19 แผ่นรองด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่	53
4.20 แท่นรองแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่มี 2 ชิ้น ซ้าย ขวา	53
4.21 แผ่นดันปลดชิ้นงาน	54
4.22 แผ่นยึดตัวดันปลดชิ้นงาน	54
4.23 แผ่นยึดด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที	54
4.24 แผ่นประกบเบ้าด้านอยู่กับที่	55
4.25 แผ่นยึดเบ้าด้านอยู่กับที่	55
4.26 เพลานำ	55
4.27 สลักดันกลับ	56
4.28 สลักปลดชิ้นงาน	56
4.29 สลักดึงชิ้นงานจากแกนรูฉีด	56
4.30 แม่พิมพ์ประกอบเสร็จ	57
4.31 เครื่องฉีดพลาสติกรุ่น BOY 50R	57
4.32 ติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติก BOY 50R	58
4.33 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด	59
4.34 ชิ้นงานมาตรฐาน ASTM D256	59
4.35 ชิ้นงานมาตรฐาน ASTM D790	60
4.36 ตำแหน่งของเบ้าอิมเพรสชั่น	60
4.37 การวัดขนาด ASTM D256	61
4.38 การวัดขนาด ASTM D790	64

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ASTM (American Society for Testing and Materials) นับได้ว่าเป็น สมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่กำหนด และจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ และเป็นที่ยอมรับทั่วโลก สมาคม ASTM จัดตั้งขึ้นในสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1989 ทำหน้าที่ส่งเสริมสนับสนุนทางด้านวิชาการ เพื่อเป็นการช่วยเหลืออุตสาหกรรม หน่วยงานของรัฐ และสาธารณชนทั่วไป โดยการพัฒนามาตรฐาน ที่เกี่ยวข้องกับ ลักษณะและการทำงาน ของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบการใช้งาน ในการทดลองการปฏิบัติงานภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากยังไม่มีชิ้นงานทดสอบ จึงต้องการแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อที่จะนำไปฉีดเป็นชิ้นงานพลาสติก ตามมาตรฐาน ASTM D256 เพื่อนำไปทดสอบหาสมบัติเชิงกลของ การรับแรงกระแทกของชิ้นงาน (Impact Test) และ ASTM D790 ทดสอบหาสมบัติเชิงกลของการดัดงอของชิ้นงาน (Flexural test) เพื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการทดสอบสมบัติเชิงกลชิ้นงานพลาสติกประเภทต่างๆ และเลือกประเภทชิ้นงานที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีหรือเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานตามความต้องการ เช่น การรับแรงของเก้าอี้พลาสติก การดัดงอของไม้เทนนิส ในโครงงานนี้จึงได้จัดทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ฉีดได้ ตามมาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกชิ้นงานทดสอบ ASTM D256 และ ASTM D790

1.2.2 เพื่อให้ได้ชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก สำหรับเครื่องฉีดพลาสติก ยี่ห้อ GMBH53577 Neustadt Germany รุ่น BOY50R

1.3.2 ชิ้นงานที่เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ชิ้นงานทดสอบจากการฉีดพลาสติกที่เป็นตามมาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ออกแบบแม่พิมพ์ที่ใช้กับเครื่องฉีดพลาสติก GMBH53577 Neustadt Germany รุ่น BOY50M ภายในอาคารปฏิบัติการ ภาควิชาอุตสาหการ

1.5.2 ใช้เม็ดพลาสติกในการฉีด คือ Polypropylene (PP)

1.5.3 สร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับ ชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790 ครั้งละ 4 ชิ้น (ชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐานอย่างละ 2 ชิ้น)

1.5.4 โปรแกรมที่ใช้ออกแบบ Solidworks (CAD) และโปรแกรมที่ใช้ทำ Tool Paths Mastercam (CAM)

1.5.5 เครื่องมือที่ใช้สร้างแม่พิมพ์ ได้แก่ เครื่องจักร CNC เครื่อง Wire cut และ เครื่อง EDM

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

1.6.1 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.2 สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงาน ภาค 3 ชลบุรี อาคารปฏิบัติการแผนกช่างกล

1.6.3 อาคารปฏิบัติการแผนกช่างกล ภาควิชาวิศวกรรมแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

วันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2553 ถึง วันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2554

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ (Gantt Chart)

ลำดับ	การดำเนินงาน	ก.ค 53	ส.ค 53	ก.ย 53	ต.ค 53	พ.ย 53	ธ.ค 53	ม.ค 54	ก.พ 54	มี.ค 54	เม.ย 54	พ.ค 54	มิ.ย 54	ก.ค 54	ส.ค 54
1.8.1	จัดทำข้อเสนอโครงการ	↔													
1.8.2	ศึกษาข้อมูล ขนาดมาตรฐานของ ASTM D256 และ ASTM D790		↔												
1.8.3	ศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก			↔	↔										
1.8.4	ศึกษาคุณสมบัติพลาสติก (PP) และเหล็ก					↔									
1.8.5	ศึกษาการใช้โปรแกรม SolidWorks 2007						↔								
1.8.6	ออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก						↔	↔	↔						
1.8.7	ศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam X4								↔	↔					
1.8.8	การทำ Generate Code NC									↔	↔				
1.8.9	ศึกษาการใช้งานเครื่องกัด CNC รุ่น Mazak FJV-250 และฉีดพลาสติกรุ่น BOY 50R										↔	↔			
1.8.10	ดำเนินการกัดเบ้าและสร้างชิ้นส่วนและประกอบแม่พิมพ์							↔	↔	↔	↔	↔			
1.8.11	ทำการทดสอบฉีดพลาสติกจริงและปรับปรุงแม่พิมพ์											↔	↔		
1.8.12	วิเคราะห์และสรุปผล												↔	↔	
1.8.13	จัดทำรูปเล่มรายงาน													↔	↔

บทที่ 2

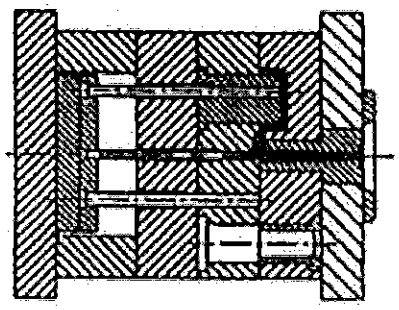
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ทฤษฎีงานแม่พิมพ์พลาสติก

ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์พลาสติกการตัดสินใจเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้ถึงความต้องการการใช้งานแม่พิมพ์ที่ดีที่สุดและมีความคุ้มค่ามากที่สุดการตัดสินใจในการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกกระบวนการผลิตการผลิตแบบหนึ่งหรือหลายๆ ชิ้นงานจำนวนของชิ้นงานที่ต้องการผลิตความเที่ยงตรงของชิ้นงานและสภาพผิวของชิ้นงานแม่พิมพ์พลาสติกมีการใช้งานที่แตกต่างกันไป เช่น แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (Injection moulding) แม่พิมพ์เป่า (Blow moulding) แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปร่างชิ้นงาน (Extrusion moulding) แม่พิมพ์แบบระบบส่งผ่าน (Transfer moulding) แม่พิมพ์แบบใช้แรงอัด (Compression moulding) และอื่นๆ โดยทั่วไปสามารถจำแนกประเภทแม่พิมพ์พลาสติกได้ดังต่อไปนี้

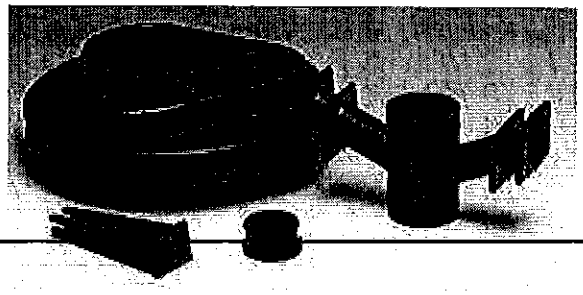
2.1.1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (Plastic Injection moulding)

เป็นกรรมวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันเพราะสามารถผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ดีและมีหลายลักษณะงาน เช่น ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องใช้ในครัวเรือน บรรจุภัณฑ์ ของเด็กเล่น เครื่องสำอาง เป็นต้น การผลิตชิ้นงานนั้นจะใช้เม็ดพลาสติกป้อนเข้าที่เครื่องฉีด เครื่องฉีดจะทำหน้าที่หลอมละลายเม็ดพลาสติกและฉีดพลาสติกเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์ คงความดันและอัดพลาสติกเหลวเข้าเต็มแม่พิมพ์และชิ้นงานจะถูกหล่อเย็นด้วยขณะฉีด เพื่อให้ได้ชิ้นงานรูปร่างตามแม่พิมพ์แล้วจึงเปิดแม่พิมพ์เพื่อทำการปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ โดยทั่วไปถ้ามีการบำรุงรักษาแม่พิมพ์เป็นอย่างดีจะทำให้อายุการใช้งาน 500,000-1,000,000 Shots ซึ่งตัวอย่างรูปแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2



รูปที่ 2.1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

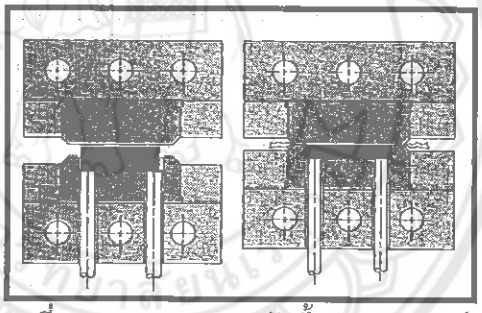
ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)



รูปที่ 2.2 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก
ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

2.1.2 แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปพอลิเมอร์ (Forming Moulding)

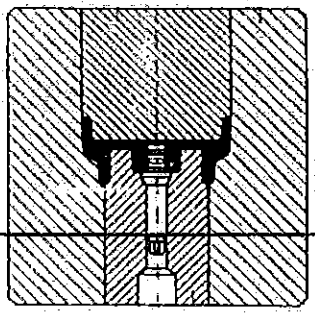
แม่พิมพ์อัด (Compression) แม่พิมพ์อัดเป็นการผลิตชิ้นงานโดยใช้พลาสติกชนิดเทอร์โมเซตติ้งลงในแม่พิมพ์แล้วทำการปิดแม่พิมพ์โดยใช้ความดันสูงพร้อมกับให้ความร้อนทำให้พลาสติกหลอมละลายเข้าแทรกยังโพรงของแม่พิมพ์ จากนั้นหล่อเย็นให้พลาสติกแข็งตัวจึงปลดชิ้นงานออก แสดงดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 กระบวนการอัดขึ้นรูปพอลิเมอร์
ที่มา: วิลเลียม เอฟ สมิธ,วัสดุวิศวกรรม (2547)

2.1.3 แม่พิมพ์อัดและอัดฉีด (Compression and Transfer moulding)

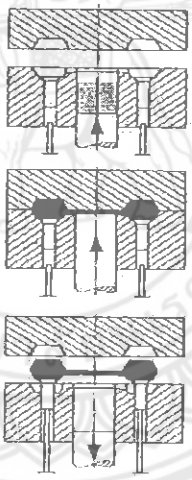
แม่พิมพ์อัดเป็นการผลิตชิ้นงานโดยใช้พลาสติกชนิดเทอร์โมเซตติ้งลงในแม่พิมพ์แล้วทำการปิดแม่พิมพ์โดยใช้ความดันสูงพร้อมกับให้ความร้อนทำให้พลาสติกหลอมละลายเข้าแทรกยังโพรงของแม่พิมพ์ จากนั้นหล่อเย็นให้พลาสติกแข็งตัวจึงปลดชิ้นงานออก ข้อแตกต่างระหว่างแม่พิมพ์อัดและแม่พิมพ์ฉีดคือ แม่พิมพ์อัดจะใช้ลูกสูบอัดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ ส่วนแม่พิมพ์ฉีดจะใช้การเติมพลาสติก แม่พิมพ์อัดจะถูกนำมาใช้ในงานผลิตชิ้นงานต้นแบบ ผลิตชิ้นงานเป็นจำนวนน้อย ใช้เวลาในการผลิตนาน รูปแม่พิมพ์อัด แสดงดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 แม่พิมพ์อัด

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

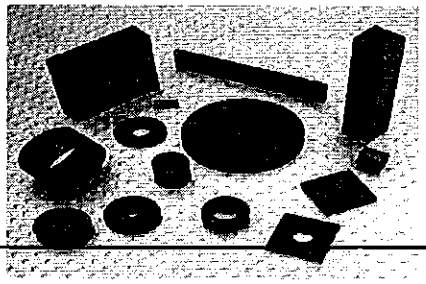
ส่วนแม่พิมพ์อัดฉีดดังแสดงในรูป 2.5 เป็นการพัฒนาแม่พิมพ์อัดให้เป็นการผลิตแบบอัตโนมัติ โดย พลาสติกจะยังไม่ถูกใส่ไปในแม่พิมพ์โดยตรง พลาสติกจะถูกทำให้ร้อนในกระบอกสูบก่อนที่จะถูกส่งไปยังแม่พิมพ์ ข้อแตกต่างระหว่างแม่พิมพ์อัดฉีดและแม่พิมพ์อัดอยู่ที่โครงสร้างของแม่พิมพ์ โดยแม่พิมพ์อัดฉีดจะต้องมีห้องอัดซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมกับเบ้า (Cavity) แม่พิมพ์ด้วยรูฉีด



รูปที่ 2.5 แม่พิมพ์อัดฉีดและกระบวนการอัดฉีด

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

สำหรับแม่พิมพ์อัดและอัดฉีดจะใช้ในการผลิต เช่น ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องใช้ในครัวเรือน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์อัดและอัดฉีดแสดงดังรูป 2.6

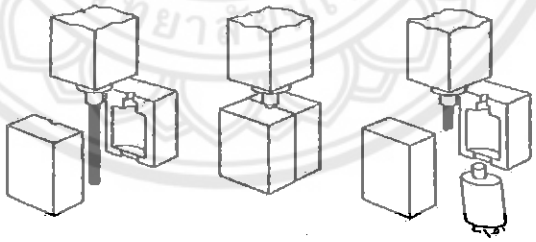


รูปที่ 2.6 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์อัดและอัดฉีด

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

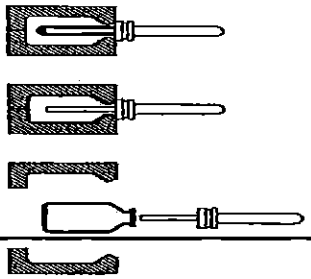
2.1.4 แม่พิมพ์เป่า (Blow moulding)

แม่พิมพ์เป่าเป็นแม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตภาชนะกลวงโดยการทำให้พลาสติกเป็นสายท่อหรือหลอดแก้ว (Parison) แล้วใช้ลมเป่าให้เกิดรูปร่างตามแม่พิมพ์ แล้วจึงทำการปลดชิ้นงาน ซึ่งวิธีการเป่าแม่พิมพ์มีอยู่ 3 วิธีหลัก คือ การเป่าแบบ Extrusion (Extrusion blow moulding) แสดงดังรูป 2.7 การเป่าฉีด (Injection blow moulding) แสดงดังรูป 2.8 การเป่าแล้วยืด (Stretch blow moulding) แสดงดังรูป 2.9 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเป่า เช่น ภาชนะกลวง ขวด ถัง แกลลอน แสดงดังรูป 2.10 แม่พิมพ์เป่าเป็นแม่พิมพ์พลาสติกที่มีอัตราการเติบโตเร็วมาก มีความต้องการในตลาดสูง ประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต



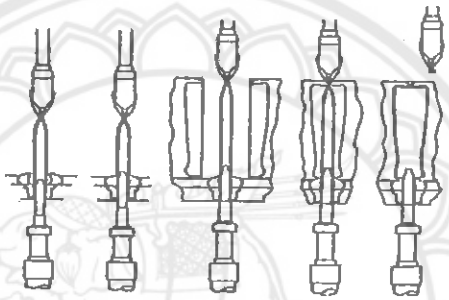
รูปที่ 2.7 แม่พิมพ์เป่าแบบ Extrusion และกระบวนการเป่าแบบ Extrusion

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)



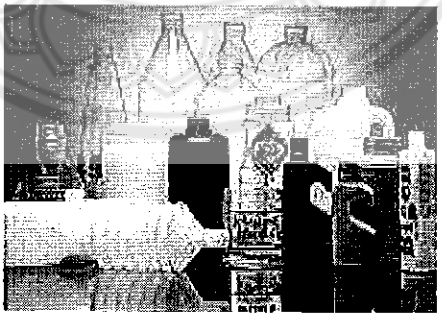
รูปที่ 2.8 แม่พิมพ์เป่าแบบ Injection และกระบวนการเป่าแบบ Injection

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)



รูปที่ 2.9 แม่พิมพ์เป่าแบบ Stretch และกระบวนการเป่าแบบ Stretch

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

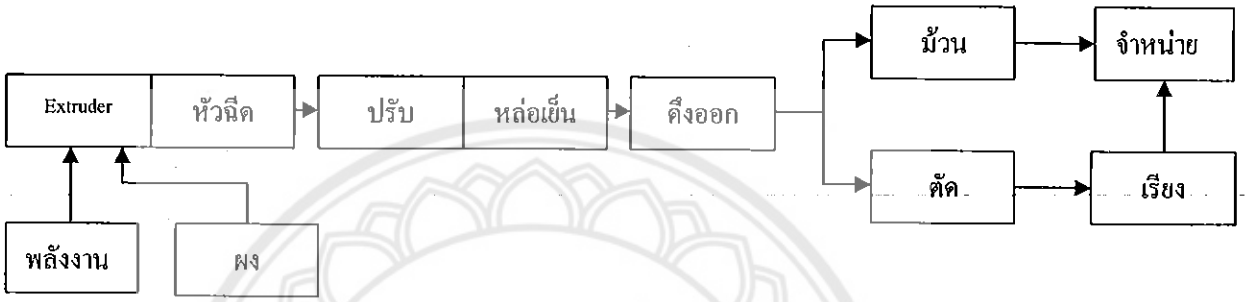


รูปที่ 2.10 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์เป่า

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

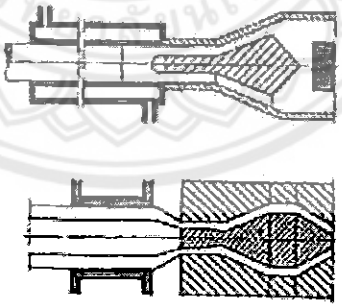
2.1.5 แม่พิมพ์งานรีด (Extrusion)

แม่พิมพ์งานรีด เพื่อผลิตชิ้นงานรูปพรรณต่างๆทั้งกลวงและตันยาวต่อเนื่องไม่รู้จบ เช่น ท่อสายยาง กรอบประตู หน้าต่าง เป็นต้น ดังแสดงในรูป 2.11 โดยเครื่อง Extrusion จะอัดและหลอมละลายพลาสติก จากนั้นจะถูกฉีดไปยังเครื่องมือสร้างรูปทรง (หัวฉีด) ต่างๆแล้วแต่ลักษณะงาน ในงาน Extrusion นั้นจะต้องนำเครื่องมืออื่นๆเข้ามาประกอบด้วย เช่น เครื่องปรับขนาด เครื่องดึง เครื่องม้วน เครื่องตัด เป็นต้น ระบบงาน Extrusion แสดงดังรูป 2.12 และ 2.13



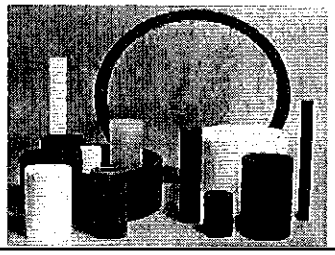
รูปที่ 2.11 กระบวนการผลิตงาน Extrusion

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)



รูปที่ 2.12 หัวฉีดที่ใช้ในงาน Extrusion

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

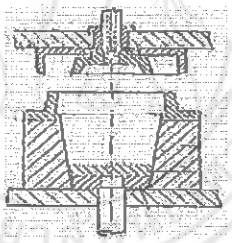


รูป 2.13 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์งานรีด

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

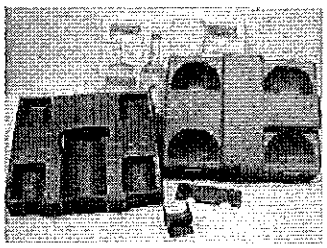
2.1.6 แม่พิมพ์งานเทอร์โมฟอร์มมิ่ง (Thermoforming)

แม่พิมพ์งานเทอร์โมฟอร์มมิ่ง ดังแสดงในรูป 2.14 ใช้ในการผลิตชิ้นงานพลาสติกด้วยวิธีนำพลาสติกแผ่นบางมาอบให้ความร้อน จากนั้นจะใช้สุญญากาศดูดแผ่นพลาสติกให้ยุบลงมาจนมีรูปร่างตามแม่พิมพ์ ผลิตภัณฑ์ในงานเทอร์โมฟอร์มมิ่ง เช่น กล่องบรรจุไข่ ถ้วยไอศกรีม ถ้วยโยเกิร์ต เป็นต้น ดังแสดงในรูป 2.15



รูปที่ 2.14 แม่พิมพ์ที่ใช้ในงานเทอร์โมฟอร์มมิ่ง

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)



รูปที่ 2.15 ผลิตภัณฑ์จากแม่พิมพ์งานเทอร์โมฟอร์มมิ่ง

ที่มา: โครงการจัดทำแผนแม่บทอุตสาหกรรมรายสาขา (2552)

2.2 ASTM (American Society for Testing and Materials)

นับได้ว่าเป็น สมาคมวิชาชีพ ทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่กำหนด และจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ และเป็นที่ยอมรับทั่วโลก สมาคม ASTM จัดตั้งขึ้นในสหรัฐอเมริกา เมื่อปี ค.ศ. 1989 ทำหน้าที่ส่งเสริมสนับสนุน ทางด้านวิชาการ เพื่อเป็นการช่วยเหลืออุตสาหกรรม หน่วยงานของรัฐ และสาธารณชนทั่วไป โดยการพัฒนามาตรฐาน ที่เกี่ยวข้องกับ ลักษณะและการทำงาน ของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบการใช้งาน ASTM ถือได้ว่าเป็นสมาคมที่ใหญ่ที่สุดในโลก ในด้านของระบบการพัฒนามาตรฐาน ที่ใช้โดยความสมัครใจ มาตรฐาน ASTM จัดขึ้น โดยมติของกรรมการวิชาการ เฉพาะสาขาวิชาต่างๆ ถึง 132 คณะ และมีการจัดพิมพ์มาตรฐานมากกว่า 9,800 เรื่อง ในแต่ละปี โดยมีสมาชิกที่ทรงคุณวุฒิ ทางวิชาการถึง 35,000 คน ประกอบด้วย ตัวแทนกลุ่มผู้ผลิต ผู้บริโภค และผู้สนใจทั่วไป รวมทั้งองค์การที่เกี่ยวข้องต่างๆ ทั้งภาครัฐ และภาคเอกชน ทำให้เชื่อได้ว่า มาตรฐาน ASTM นี้ ครอบคลุมวิชาการต่างๆ มากมาย และมีความละเอียด ลึกซึ้ง นอกจากนี้ มาตรฐาน ASTM ยังได้รับการพิจารณา ทบทวนปรับปรุง และแก้ไขเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลา ทำให้ทันสมัยอยู่เสมอ

2.2.1 การจัดแบ่งมาตรฐาน ASTM

มาตรฐาน ASTM ที่ผ่านการรับรองของสมาคมฯ และประกาศใช้เป็นมาตรฐาน สามารถแบ่งตามเนื้อหา ออกได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

2.2.1.1 Classification เป็นมาตรฐานของ ระบบการจัดการ และการจัดแบ่ง วัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบ หรือการใช้งาน ออกเป็นกลุ่มๆ โดยอาศัยคุณลักษณะ ที่เหมือนกัน เช่น แหล่งกำเนิด ส่วนประกอบ คุณสมบัติหรือประโยชน์ใช้สอย

2.2.1.2 Specification เป็นข้อกำหนดที่ระบุแน่นอน ถึงคุณลักษณะและสมบัติต่างๆ ที่ต้องการของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ ระบบหรือการใช้งาน ข้อกำหนดเหล่านี้ มักจะแสดงค่าเป็นตัวเลข และมีข้อจำกัดกำหนดไว้ พร้อมทั้งวิธีหาค่าเหล่านั้นด้วย

2.2.1.3 Terminologyเป็นเอกสารมาตรฐาน ที่กำหนดคำนิยาม คุณลักษณะ คำอธิบายของศัพท์ต่างๆ เครื่องหมาย ตัวย่อ คำย่อที่ใช้ในมาตรฐานต่างๆ

2.2.1.4 Test method เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับกรรมวิธี ที่กำหนดให้ใช้ในการตรวจสอบ พิสูจน์วัด และปริมาณคุณภาพ คุณลักษณะ คุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างของวัสดุ ระบบหรือ การใช้งาน ซึ่งมีผลการทดสอบ ที่สามารถนำไปใช้ ในการประเมินค่าตามข้อกำหนด

2.2.1.5 Guide เป็นคำแนะนำ หรือทางเลือก ให้ผู้ใช้เลือกใช้เทคนิคต่างๆ ที่มีอยู่ รวมทั้งสิ่ง ที่จะได้จากการประเมิน และการมาตรฐานที่ใช้นั้นๆ ด้วย

2.2.1.6 Practice เป็นวิธีการปฏิบัติเฉพาะ สำหรับงานเฉพาะอย่าง ได้แก่ การเขียนรายงาน การสุ่มตัวอย่าง ความแม่นยำ ความละเอียด การเลือกอุปกรณ์ การจัดเตรียม การประยุกต์ใช้

งาน การตรวจสอบ ข้อควรระวังในการใช้ การกำจัดทิ้ง การติดตั้ง การบำรุงรักษา ตลอดจนการใช้เครื่องมือทดสอบ

2.2.2 นอกจากนี้ ASTM มีการจัดแบ่งมาตรฐานออกเป็นกลุ่มๆ เฉพาะเรื่อง โดยใช้ตัวอักษร เป็นสัญลักษณ์แทนกลุ่มของเนื้อเรื่อง เรียงตามลำดับดังนี้

A : Ferrous Metals

B : Nonferrous Metals

C : Cementitious, Ceramic, Concrete, and Masonry Meterials

D : Miscellaneous Materials

E : Miscellaneous Subjects

F : Materials for Specific Applications

G : Corrosion, Deterioration, and Degradation of Materials

เดิม ASTM ได้แบ่งประเภทมาตรฐาน ตามลักษณะการกำหนดมาตรฐาน ออกเป็น 3 ชนิดคือ

1) Standards เป็นมาตรฐานที่จัดทำขึ้น ตามมติเอกฉันท์ของสมาชิก และผ่านการรับรองตามขั้นตอน และกฎของสมาคมฯ เรียบร้อยแล้ว

2) ES.(Emergency Standard) เป็นเอกสารที่จัดพิมพ์ตามความต้องการ เร่งด่วน แต่ยังไม่ผ่านการรับรองของสมาคมฯ เพียงแต่ผ่านการพิจารณา ของคณะอนุกรรมการบริหาร

3) P. (Proposal) เป็นเอกสารมาตรฐานที่พิมพ์เพื่อเผยแพร่ แนะนำ ก่อนที่จะพิจารณาลงมติให้ใช้เป็นมาตรฐาน

แต่ในปี ค.ศ. 1995 สมาคม ASTM ได้กำหนดให้ใช้ PS. (Provisional Standards) ซึ่งเป็นเอกสาร ที่ถูกจัดพิมพ์ขึ้นมา ใช้แทน ES. และ P.

2.2.3 การจัดพิมพ์ Annual book of ASTM standards

ASTM standards จัดพิมพ์รวมเล่มเป็นชุดประจำปี ใช้ชื่อว่า Annual book of ASTM standards มาตรฐานที่พิมพ์รวมเล่มนี้ ต้องผ่านการรับรองของสมาคมฯ มาแล้วอย่างน้อย 6 เดือน เมื่อใช้ไปครบทุก 5 ปี จะได้รับการพิจารณาทบทวนจาก คณะกรรมการวิชาการ ซึ่งอาจมีการปรับปรุงใหม่ มาตรฐานที่นำมาพิมพ์ ในแต่ละปีนั้น จึงมีทั้งเรื่องที่พิมพ์ซ้ำ รวมทั้งเรื่องใหม่ๆ และเรื่องที่ได้รับการปรับปรุง ซึ่งมีประมาณร้อยละ 30 ของเรื่องทั้งหมดในแต่ละเล่ม ผู้ใช้สามารถทราบว่า มาตรฐาน

นั้นๆ เป็นเรื่องเดิม หรือปรับปรุงใหม่ ได้จากปีที่กำกับอยู่ ท้ายรหัสตัวอักษร ที่ ASTM กำหนดให้ใช้สำหรับมาตรฐานแต่ละเรื่อง การจัดพิมพ์รวมเล่ม เอกสารมาตรฐาน ASTM นี้ จะรวมเรื่อง ประเภทเดียวกัน ไว้ในเล่มเดียวกัน และมีการวิจัยพัฒนา จัดแบ่งเล่มใหม่อยู่เสมอ และในระหว่างปี ค.ศ. 1974-1982 Annual book of ASTM standards มี 47 เล่ม และเล่มที่ 48 เป็นดรรชนีรวม เอกสารมาตรฐาน ASTM และในปี ค.ศ.1983 ได้ปรับปรุงรูปเล่มขึ้นใหม่ จำนวน 66 เล่ม โดยจัดเรื่องเป็นกลุ่มๆ รวม 16 กลุ่มดังนี้

Section 1 : Iron and Steel Products

Section 2 : Nonferrous Metal Products

Section 3 : Metals Test Methods and Analytical Procedures

Section 4 : Construction

Section 5 : Petroleum Products, Lubricants and Fossil Fuels

Section 6 : Paints, Related Coatings, and Aromatics

Section 7 : Textiles

Section 8 : Plastics

Section 9 : Rubber

Section 10 : Electrical Insulation and Electronics

Section 11 : Water and Environmental Technology

Section 12 : Nuclear, Solar, and Geothermal Energy

Section 13 : Medical Devices

Section 14 : General Methods and Instrumentation

Section 15 : General Products, Chemical Specialities, and End Use Products

Section 00 : Index

การจัดพิมพ์เรื่องราว รายละเอียดของมาตรฐานในแต่ละเล่ม จะจัดเรียงลำดับ ตามรหัสตัวอักษร และตัวเลข ยกเว้นเล่มที่ 05.04, 11.01 และ 11.02 จะเรียงเรื่องตามกลุ่มวิชา และเล่มที่ 06.03 จะเรียงเรื่องตามกลุ่มคณะกรรมการ ที่กำหนดเรื่อง แต่อย่างไรก็ตาม ในแต่ละกลุ่ม ยังคงเรียงลำดับรหัสตัวอักษร และตัวเลข ที่กำกับประจำแต่ละเรื่อง ASTM ได้มีการจัดพิมพ์ และปรับปรุงรูปเล่มของ Annual book of ASTM standards อยู่ตลอดเวลา

2.2.4 การค้นหาสารนิเทศจากเอกสารมาตรฐาน ASTM

เล่มที่ 00.01 เป็นดรรชนีรวม ของเอกสารมาตรฐานทั้งหมด โดยแบ่งเป็น 2 ตอน ตอนแรก เป็นดรรชนีหัวเรื่อง (subject index) ตอนหลังเป็น ดรรชนีรหัส ตัวอักษร และตัวเลข ประจำเรื่องมาตรฐาน (alphanumeric list) เรียงตามลำดับตัวอักษร และตัวเลข

ดรรชนีหัวเรื่อง (subject index)

ใช้ค้นหาหมายเลขมาตรฐาน ของเรื่องที่ต้องการ และเล่มที่ตีพิมพ์ เนื้อเรื่องเต็ม ของมาตรฐานหมายเลขนั้นๆ

ตัวอย่าง:

Calcium chloride

calcium chloride, spec,,

D 98 (04.03)

ความหมาย : หมายเลขของมาตรฐาน ASTM เรื่อง Standard specification for calcium chloride คือ ASTM D 98 เนื้อเรื่องเต็ม ตีพิมพ์อยู่ใน Annual book of ASTM standards เล่มที่ 04.03

ดรรชนีรหัสตัวอักษรและตัวเลข ประจำเรื่องมาตรฐาน (alphanumeric list)

ใช้ค้นหารายละเอียดของมาตรฐาน หมายเลขที่ต้องการ ชื่อเรื่อง ปีที่ประกาศใช้ การปรับปรุงการยกเลิก ปีที่ยกเลิก การระบุหมายเลขมาตรฐาน ที่ใช้แทนหมายเลขมาตรฐาน ที่ถูกยกเลิก และเล่มที่ตีพิมพ์เนื้อเรื่องเต็ม ของมาตรฐานหมายเลขนั้นๆ

ตัวอย่างที่ 1 : D 1042-93

Test method for linear dimensional changes of plastic under accelerated service conditions 08.01

ความหมาย : มาตรฐาน ASTM หมายเลข D 1042 ประกาศใช้ปี ค.ศ. 1993

ชื่อเรื่อง : Test method for linear dimensional changes of plastics under accelerated service conditions

เนื้อเรื่องเต็มตีพิมพ์อยู่ใน Annual book of ASTM standards เล่มที่ 08.01

ตัวอย่างที่ 2 : D 1089

Discontinued 1984 ; Method of test for carbonyl

content of butadiene ; replace by D 4423

ความหมาย : มาตรฐาน ASTM หมายเลข D 1089 ยกเลิกเมื่อปี ค.ศ. 1984 โดยใช้หมายเลข D 4423 แทน

ที่มา: จารุนี วิวัชรโกเศศ. "เอกสารมาตรฐาน ASTM." วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 46 (พฤษภาคม 2541) : 23-25.

2.3 กรรมวิธีออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

2.3.1 เพื่อศึกษาศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์สามารถที่จะยึดและนำมาดัดแปลงใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ระบบการทำงานที่หลากหลาย ประกอบด้วย คือ

2.3.1.1 ระบบรูวิ่ง (Spue and runner system) การไหลพลาสติกหลอมจากหัวฉีดของเครื่องฉีดไปยังอิมเพรสชั่นแต่ละแห่งจึงต้องออกแบบเป็นพิเศษให้สามารถรับพลาสติกเหลวที่ถูกฉีดออกมาจากเครื่องฉีดพลาสติก เพื่อไม่ให้มีการติดขัดและมีทางวิ่งให้สั้นที่สุดเพื่อลดเนื้อพลาสติกที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิต

2.3.1.2 ระบบเบ้าและคอร์ (Core and Cavity inserts) ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ต้องออกแบบให้มีลักษณะตามชิ้นงานสิ่งสำคัญคือต้องออกแบบให้สามารถปลดชิ้นงานได้

2.3.1.3 ระบบไล่อากาศ (Venting system) กรณีแม่พิมพ์ปิดต้องมีระบบไล่อากาศ เพราะถ้าไม่มีระบบนี้ พลาสติกเหลวจะไม่สามารถเข้าไปแทนที่อากาศที่อยู่ในโพรงแม่พิมพ์ได้เนื่องจากอากาศไม่มีที่ให้ระบาย ออก

2.3.1.4 ระบบหล่อเย็น (Cooling system) เป็นระบบเพื่อรักษาความแตกต่างของอุณหภูมิ ของแม่พิมพ์ไม่ให้สูงจนเกินไป ระบบหล่อเย็น น้ำหรือของเหลวอื่นๆ จะถูกส่งเข้าไปไหลเวียนในรูหรือร่องที่ทำขึ้นในแม่พิมพ์ รูหรือร่องที่ทำขึ้นนี้เรียกว่า ทางไหลของระบบหล่อเย็น หรือทางน้ำหล่อเย็น เนื่องจากถ้าไม่มีระบบดังกล่าว เมื่อผลิตชิ้นงานจำนวนมาก ความร้อนจากเนื้อพลาสติกจะสะสมอยู่ในแม่พิมพ์ ส่งผลให้แม่พิมพ์มีความร้อนสูง ทำให้ผลิตชิ้นงานได้น้อยลงเนื่องจาก

รอบเวลาการผลิตที่มากขึ้นและยังส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้วยในแง่ของผิวงานและขนาดไม่ได้ตามแบบที่กำหนด

2.3.1.5 ระบบปลดชิ้นงาน (Ejection system) เป็นระบบที่ใช้ปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ เมื่อฉีดพลาสติกเข้าไปในอิมเพรสชั่นการปลดชิ้นงานแต่ละครั้งเพื่อความสะดวกจึงมีระบบกระทุ้งอัตโนมัติสำหรับดันให้ระบบปลดชิ้นงานทำงานเนื่องจากหลังจากพลาสติกเย็นตัวลงจะเกิดการหดตัวลงเล็กน้อยทำให้เกาะติดกับแม่พิมพ์จึงต้องมีระบบปลดชิ้นงานเพื่อสามารถปลดชิ้นงานได้โดยง่ายและเป็นไปโดยอัตโนมัติ

2.3.1.6 ระบบนำศูนย์ (Guiding system) เนื่องจากแม่พิมพ์ส่วนใหญ่จะประกอบแผ่นเหล็กประกบกันหลายแผ่นซึ่งแต่ละแผ่นต้องมีศูนย์กลางร่วมกันขณะแม่พิมพ์ทำงานจะมีการเปิดปิดหลายพันหลายหมื่นครั้ง ระบบนำศูนย์ต้องถูกคำนวณและออกแบบเป็นอย่างดี ถ้าไม่ดีจะส่งผลต่อรอยประกบของผิวชิ้นงานได้

2.3.1.7 ระบบจับยึดแม่พิมพ์ (Mounting system) เป็นระบบที่ออกแบบสำหรับการยึดแม่พิมพ์กับเครื่องฉีดพลาสติก การออกแบบระบบจับยึดที่ดีจะทำให้ลดเวลาในการเปลี่ยนแม่พิมพ์

2.3.2 การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกตามมาตรฐาน

2.3.2.1 รูวิ่ง (Runner) คือ ร่องที่ตัดเฉือนในแม่พิมพ์เพื่อให้รูฉีดและรูอิมเพรสชั่นติดต่อกันได้สำหรับแม่พิมพ์แบบสองส่วน รูวิ่งจะอยู่บนผิวแบ่งส่วนแม่พิมพ์

ก. รูปทรงหน้าตัดของรูวิ่ง จะเลือกใช้แบบครึ่งวงกลม รูวิ่งควรจะมีพื้นที่หน้าตัดโตที่สุดเมื่อพิจารณาจากการส่งถ่ายแรงดันและเมื่อพิจารณาจากการส่งถ่ายความร้อน รูวิ่งควรจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับเนื้อพลาสติกน้อยที่สุด อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัดต่อพื้นที่ผิวสัมผัสโดยรอบของรูวิ่งจะช่วยชี้บอกถึงประสิทธิภาพของการออกแบบรูวิ่ง คือ หากอัตราส่วนมีค่ามากแสดงว่ามีประสิทธิภาพสูง

ข. ขนาดของรูวิ่ง ซึ่งจะต้องพิจารณาจาก

ข.1 รูปทรงหน้าตัดของรูวิ่งและปริมาตรของชิ้นงาน

ข.2 ระยะทางจากรูวิ่งหลักหรือรูฉีดไปยังอิมเพรสชั่น

ข.3 การพิจารณาเกี่ยวกับการหล่อเย็นระบบรูวิ่ง

ข.4 ขนาดของมีดกัดที่สามารถหาใช้ได้

ข.5 ชนิดของพลาสติกที่ใช้

ค. การร่างแบบรูวิ่ง การร่างแบบรูวิ่งจะขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ต่างๆ ดังนี้

ค.1จำนวนอิมเพรสชั่น

ค.2 รูปทรงของชิ้นงาน

ค.3 ชนิดของแม่พิมพ์ (แบบ 2 แผ่นหรือแบบหลายแผ่น)

ค.4 ชนิดของรูเข้า

ง. การออกแบบเพื่อร่างแบบรูวิ่งมีข้อพิจารณาใหญ่ 2 ประการ คือ

ง.1 ความยาวของรูวิ่งควรจะออกแบบใช้ให้สั้นที่สุดเพื่อลดการสูญเสียแรงดัน

ง.2 ระบบรูวิ่งจะต้องสมดุลกัน

2.3.2.2 รูเข้า (Gate) คือ ร่องหรือรูเล็กๆที่ต่อระหว่างรูวิ่งกิ่งกับอิมเพรสชั่น ซึ่งจะมีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กเพื่อ

ก. แกนรูเข้าจะแข็งตัวได้เร็วหลังจากที่อิมเพรสชั่นถูกเติมเนื้อพลาสติกจนเต็ม ทำให้สามารถถอยก้านฉีด ของเครื่องฉีดพลาสติกออกได้โดยไม่ทำให้เกิดเป็นช่องว่างหรือแอ่งบนชิ้นงานเนื่องจากการดูดกลับ ของเนื้อพลาสติก

ข. ปลดแกนรูเข้าได้ง่ายและในแม่พิมพ์บางแบบสามารถปลดแกนรูเข้าได้โดยอัตโนมัติ

ค. หลังจากปลดแกนรูเข้าแล้วจะเหลือรอยตำหนิบนชิ้นงานเล็กๆเท่านั้น

ง. ควบคุมการเติมเนื้อพลาสติกในแม่พิมพ์แบบหลายอิมเพรสชั่นได้ดี

จ. ความจำเป็นที่จะต้องอัดเนื้อพลาสติกเข้าไปในอิมเพรสชั่นมากกว่าที่ต้องการ เพื่อแก้ไขขนาดเนื่องจากการหดตัวมีน้อยลง

ฉ. การกำหนดตำแหน่งรูเข้า ตำแหน่งรูเข้าควรจะอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดการไหลเติมเนื้อพลาสติกในอิมเพรสชั่นอย่างสม่ำเสมอ และกระจายการไหลของเนื้อพลาสติกเข้าไปยังส่วนต่างๆ ของอิมเพรสชั่นในเวลาที่ใกล้เคียงกันที่สุด วิธีนี้การกระจายการไหลของเนื้อพลาสติกที่ไหลมาบรรจบกันจะไม่ทำให้เกิดเป็นรอยเชื่อมของเนื้อพลาสติก

ช. ชนิดของรูเข้า เพื่อให้สภาวะการเติมพลาสติกหลอมได้ประโยชน์อย่างเต็มที่ต้องเลือกใช้ชนิดของรูเข้าอย่างระมัดระวัง โครงงานนี้จะเลือกใช้ รูเข้าขอบแบบสี่เหลี่ยม ซึ่งแบบนี้ใช้ในวัตถุประสงค์ทั่วๆไปและง่ายๆ ทำเพียงตัดเฉือนเป็นร่องสี่เหลี่ยมบนแผ่นแม่พิมพ์ด้านหนึ่งเพื่อต่อระหว่างรูวิ่งกิ่งกับอิมเพรสชั่น

2.3.3 ระบบปลดชิ้นงาน (Ejection)

ในการทำงานบนเครื่องฉีดพลาสติก จะจัดเตรียมระบบกระทุ้งอัตโนมัติสำหรับดันให้ระบบปลดชิ้นงาน ระบบปลดชิ้นงานของแม่พิมพ์จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพถ้าประกอบอยู่กับแม่พิมพ์ส่วนที่เคลื่อนที่ โดยระบบปลดชิ้นงานจะมี 3 ส่วน คือ

2.3.3.1 ห้องระบบปลดชิ้นงาน

2.3.3.2 แผ่นประกอบตัวปลด

2.3.3.3 วิธีดันปลดชิ้นงาน

2.3.4 อิมเพรสชั่น

โครงงานนี้จะเป็นแม่พิมพ์แบบ 4 อิมเพรสชั่น ซึ่ง การออกแบบอิมเพรสชั่น ต้องออกแบบให้เกิด การสมดุลรูวิ่ง คือ ระยะทางที่เนื้อพลาสติกหลอมไหลจากรูฉีดไปยังรูเข้าของชิ้นงานแต่ละชิ้นจะต้องเท่ากัน เพื่อให้มั่นใจว่าอิมเพรสชั่นแต่ละอันจะถูกเติมเนื้อพลาสติกให้เต็มพร้อมๆกันอย่างสม่ำเสมอ โดยใช้รูเข้าที่มีความยาวและพื้นที่เหมือนๆกัน

2.3.5 การตรวจสอบแบบแม่พิมพ์ฉีด

เป็นขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งจะเป็นการพิจารณาหาข้อผิดพลาดในการออกแบบ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้และแก้ไขข้อผิดพลาดเหล่านี้ให้ถูกต้อง โดยวิศวกรผู้ออกแบบและช่างผู้เขียนแบบจะมีโอกาสตรวจสอบแบบก่อนบุคคลอื่น เพื่อให้มั่นใจว่าชิ้นส่วนต่างๆที่จะทำแม่พิมพ์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สูตรคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์

ขนาดของแม่พิมพ์ = ขนาดความของชิ้นงาน + (ขนาดความของชิ้นงานxเปอร์เซ็นต์การหดตัว) (2.1)

2.3.6 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต

ระบบสมัยใหม่ที่ครอบคลุมถึงมาตรฐานทางปฏิบัติ สำหรับกำหนดขนาดและคุณลักษณะทางเลขาคณิตได้กำหนดไว้ใน American National Standard ANSI Y14.5-1982 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric Dimension and Tolerancing)

โดยปกตินิยมใช้มาตรฐาน ANSI Y14.5-1982 สำหรับการออกแบบเครื่องมือและการผลิตชิ้นงานโดยการตัดปาดผิว, แต่ก็นิยมใช้กับกรรมวิธีการผลิตทั้งหมดรวมทั้งการเพรสขึ้นรูปด้วย ปัจจุบันยอมรับและเพิ่มการใช้งานทางด้านหลักการของมิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิตมากขึ้นและใช้ในทางปฏิบัติกับงานเพรสโลหะแผ่นเพื่อการผลิตจำนวนมาก โดยมีการใช้การผลิตชิ้นงานตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ เช่น ตัวถังรถยนต์

2.3.7 การตรวจสอบแม่พิมพ์ฉีด

2.3.7.1 ตรวจสอบสภาพของชิ้นส่วนต่าง ๆ ว่ามีชิ้นไหนเกิดความเสียหายหรือไม่ ถ้าเสียหายให้แก้ไขหรือทำใหม่ก่อนนำไปใช้งานต่อไป

2.3.7.2 ตรวจสอบ Spring ทุกตัวทุกขนาดว่ามีการแตกหักบ้างหรือไม่ในกรณีที่ Spring แตกหักอาจจะแค่ตัวเดียวก็ตามควรทำการเปลี่ยนใหม่ทั้งหมด เนื่องจากคงหมดอายุการใช้งานหรือดูสภาพของ Spring ว่าถ้าใช้งานได้อีกไม่นานก็ควรเปลี่ยนใหม่

2.3.7.3 ทำการขัดผิวใหม่ (Repolishing) ในส่วนที่มีการขัดผิวละเอียด ตัวอย่างชิ้นงานที่จะขัดเช่น Cavity Bush, Core Bush, Out Core, Center Core เป็นต้น

2.3.7.4 ตรวจสอบรู Gate ในกรณีที่เป็น Pinpoint Gate ว่ามีขนาดใหญ่ขึ้นหรือไม่ มีเศษฝุ่นผงติดค้างอยู่ในรู Gate หรือไม่

2.3.7.5 ขัด Sprue Runner และ Runner ใหม่ทั้งหมด ให้มีความมันเพื่อให้พลาสติกไหลเข้าได้สะดวกขึ้น

2.3.7.6 ตรวจสอบดูว่าระบบหล่อเย็น มีการอุดตันหรือไม่โดยการใช้ลมเป่าเข้าไปถ้าลมออกน้อยหรือเบาให้ ทำความสะอาดระบบหล่อเย็นทั้งหมด โดยการถอด Insert ออกจาก Plate แล้วทะลวงรูน้ำที่ Plate, Core Bush, Cavity Bush หรือ Cooling Bush ทุกชิ้นส่วนที่มีระบบหล่อเย็นอยู่

2.3.7.7 ตรวจสอบ O-ring หรือ V-ring ว่ายังมีสภาพดีอยู่หรือไม่

2.3.7.8 ตรวจสอบ Guide Pin และ Guide Bush มีรอยขีดข่วนหรือไม่ ระยะระหว่าง Guide Pin และ Guide Bush ความตรงและความกลม

2.3.7.9 ตรวจสอบ Air-vent ทุกๆจุด เช่น บริเวณ หน้า Parting Line, Taper, ปรกติถ้าเป็นพลาสติก (PP) จะมีร่อง Air-vent ประมาณ 0.01 - 0.015 มม.

2.4 วัสดุประเภทเหล็กที่ใช้ทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

2.4.1 เหล็กที่ชุบแข็งมาแล้วไม่ต้องชุบแข็งเพิ่มเติม ขัดเงาได้ดี สามารถกลึง เจาะ ไสได้ดีมีคุณสมบัติ ทางโฟโตเอทชิ่งดี ความแข็งแรงสูง

2.4.1.1 M202 ขัดขึ้นเงาดี ทำงานง่าย มีความแข็งสม่ำเสมอใช้ทำ แม่พิมพ์พลาสติก แม่พิมพ์แบล็คกาไลท์ ทำโมลด์อินเสิร์ต (ชิ้นสอด)

2.4.1.2 M238 เป็นเหล็กที่ชุบแข็งมาแล้วมีส่วนผสมกำมะถันต่ำมาก 0.003% ทำให้ไม่มีตามด มีความ แข็งสม่ำเสมอ ขัดเงาได้เหมือนกระจก ใช้ทำแม่พิมพ์พลาสติก แม่พิมพ์แบล็คกาไลท์ เมลามีน

2.4.1.3 P20 สามารถทำพิมพ์ลวดลายได้ สามารถรับ แรงดึงสูง ทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่มีจำนวนการผลิตค่อนข้างสูง ชุบแข็งมาแล้ว ทำการชุบแข็งผิวด้วยวิธีคาร์บูไรซิ่งเพื่อเพิ่มความแข็ง โดย รักษาความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Thermal shock) ต้านทานต่อการอ่อนตัวที่อุณหภูมิสูง การบิดเบี้ยวต่ำ ความสามารถในการกลึงไสได้ง่ายไม่เปราะ ขัดเงาได้ดี

2.4.2 เหล็กสแตนเลส สามารถทนต่อการกัดกร่อนสูง สามารถทนต่อการสึกหรอได้ดี

2.4.2.1 N695 ทำแม่พิมพ์หรือใช้ทำอุปกรณ์ที่ต้องการทนสนิม มีความคมและทน เสียดสี

2.4.2.2 M300 ทำแม่พิมพ์ชนิดที่ต้องการทนกรดสูง ทนสนิม เช่น แม่พิมพ์พลาสติก แม่พิมพ์อุตสาหกรรมท่อพีวีซี

2.4.2.3 M310 ทำแม่พิมพ์สามารถทนต่อการกัดกร่อนสูงและทนต่อการสึกหรอได้ดี

2.4.2.4 M340 สามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก ทนต่อการสึกหรอได้ดี มาก คง ขนาดรูปร่างได้ดีระหว่างชุบแข็ง ทำโมลด์ ,โมลด์อินเสิร์ต ,สกรู

2.4.3 เหล็กชุบแข็งพร้อมใช้งาน

2.4.3.1 NAK80 เป็นเหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติกชั้นสูง มีอายุการใช้งาน ยาวนาน มีความสามรถในการกลึงที่ดีเยี่ยมทั้งที่มี ความแข็งสูง ขัดเงาเหมือนกระจก

2.4.3.2 M461 เป็นเหล็กที่ชุบแข็งมาแล้วและพร้อมใช้งาน ไม่ต้องชุบแข็ง เพิ่มเติม (อยู่ในสภาพชุบแข็งพร้อมใช้งาน 40 HRC สามารถชุบแข็งได้สูงสุดถึง 44 HRC) ความแข็งสูง การขัดเงาดีเลิศ สามารถเจาะ ไสได้ดี มีคุณสมบัติทาง โพโตเอทชิ่งดีทำแม่พิมพ์พลาสติกที่ต้องการความแข็งแรงสูง แสดงดังตาราง 2.1

ตารางเปรียบเทียบเกรดเหล็ก

THAI-GERMAN GRADE		DIN	JIS	AISI	UNI	ASSAB	BOHLER	BUDERUS	DAIDO	HITACHI	KOSHUHA	ROCHLING
COLD WORK STEEL	2210 (h8)	115CrV3	SKS 2	L2	107CrV3KU		K510					
COLD WORK STEEL	2379	X153CrVMo12	SKD 11	D2	X155CrVMo121KU	XW-42	K110	2379	DC11	SLD	KD11V	RCC SUPRA
COLD WORK STEEL	2510	95MnCrW5	SKS 3	O1	95MnCrW5KU	OF-3	K460	2510	GOA	SGT	KS3	RUS-3
HOT WORK STEEL	2344 EFS	X40CrMoV51	SKD 61	H13	X40CrMoV511KU	8407	W302	2344	DHA1	DAC	KDA	RDC-2V
PLASTIC STEEL	2083 ESR	X40Cr14	SUS 402J2	420J2	X40Cr14	STAVAX	M310	2083		HPM38		RNOH
PLASTIC STEEL	2311	40CrMnMo7	-	P20	35CrMo8KU	618	M202	2311	PX4	HPM22	P-20	
PLASTIC STEEL	2312	40CrMnMoS86	-	P20+S	-	HOLDAX	M200					MOULREXA
PLASTIC STEEL	2316	X38CrMo16	-	420 Mod.	X38CrMo161KU	RAMAX S	M300	2316				RHOX
PLASTIC STEEL	2738	40CrMnNiMo864	-	P20+Ni	-	718	M238					-
PRECIPITATION	PH42 ESR	-	-	-	-				NAK80			
HIGH SPEED STEEL	3243	S 6-5-2-5	SKH 55	M35	HS 6-5-2-5		S705					M5CO
HIGH SPEED STEEL	3343	S 6-5-2	SKH 51	M2	HS 6-5-2		S600	3343	MH51	YXM 1		GIANT M5
POWDER METAL STEEL	TSP 4	S 6-5-4	SKH 54	M4 PM	-		S690 PM	REX M4				
POWDER METAL STEEL	TSP 23	S 6-5-3	SKH 53	M3/2 PM	-	ASP 23						
STAINLESS	4125	X105CrMo17	SUS 440C	440C	X105CrMo17		N695					
MACHINERY	4140	42CrMo4	SCM 440	4140	38CrMo4KB	709			SCM440		SCM440	
BARING	3505	100Cr6	SUJ 2	52100	100Cr6		R100				SUJ2	RW-3
MACHINERY	6582	34CrNiMo6	SNCM 439H	4340H	35NiCrMo6KB	7210	V155	6582	SNCM439		SNCM439	MONIX 15
MACHINERY	7225	42CrMo4	SCM 440H	4140H	38CrMo4KB	705	V 320	7225				MO 40
CARBURIZING	5919	15CrNi6	SNC 415	3115	16NiCr11			5920				RECN
CARBURIZING	7131	16MnCr5	SCM 415	5115	16MnCr5				SCM415		SCM415	EC 80
NITRIDING	8509	41CrAlMo7	SACM 645	E71400	41CrAlMo7			8550				
CARBON	CK45	CK45	S 45C	1045	C 45				S45C		S45C	
CARBON	S50C	CK50	S 50C	1050	C 50	760					RMS 50C	
CARBON	S55C	CK55	S 55C	1055	C 55							

ตารางที่ 2.1 ตารางเทียบเกรดเหล็กตามมาตรฐาน

ที่มา : บริษัท ทิสเซ่นครุปแมททีเรียลส์ (ไทยแลนด์) จำกัด. " ตารางเปรียบเทียบเกรดเหล็ก. "

http://www.thyssenkruppmaterials.co.th/content/view/28/40/

2.5. ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับพลาสติก

พลาสติกหรือพอลิเมอร์เป็นสารสังเคราะห์ที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีของสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะประกอบด้วย คาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) เป็นหลักการขึ้นรูปพลาสติกโดยการฉีดจะใช้พลาสติกที่เป็นเม็ดหรือเป็นผงอาจจะเป็น Thermoplastics Thermosettings หรือ Elastomer ขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องฉีดที่จะดัดแปลงให้เหมาะสมกับพลาสติกชนิดต่างๆ

2.5.1 ประเภทของพลาสติก

2.5.1.1 โพลิเอทีลีน (Polyethylene = PE) โพลิเอทีลีนเป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีลักษณ์ใสจนถึงสีขาวแต่แสงผ่านได้ ถ้าเป็นฟิมล์บางๆจะใส แต่ถ้าหนาจะขุ่นขาวคล้ายขี้ผึ้ง และสามารถทำให้เป็นสีต่างๆได้ โพลิเอทีลีนโดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 แบบ คือ

ก. PE แบบที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDPE) มีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา ซึ่งทำให้ Degree ของ Crytallinity และ Deessity ต่ำลง และทำให้ค่า Strenght ต่ำลงอีกด้วย

ข. PE แบบที่มีความหนาแน่นสูง (HDPE) ซึ่งมีโครงสร้างเป็นเส้นตรงผลิตด้วยกระบวนการ Phillips และ Ziegler โดยมีตัวเร่งทำให้ใช้ความดันและอุณหภูมิต่ำลง มีกิ่งก้านสาขาน้อย ทำให้โมเลกุลสามารถ ไปใกล้กันได้มากขึ้น ทำให้ Crystallinity และ Strength เพิ่มขึ้นด้วยโพลิเอทีลีนเป็นพลาสติกที่ใช้กันมากทั่วโลก เนื่องจากมีราคาถูก และมีสมบัติที่เอื้อต่อการใช้งานหลายๆด้านแข็งแรง พอสมควร เหนียว กันการซึมกร่อนได้ดี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส กลายเป็นไอได้น้อยมากการประยุกต์ใช้ ทำภาชนะ บรรจุ ฉนวน ไฟฟ้า สายพลาสติก ทำอุปกรณ์ที่ใช้ในบ้านเรือน ทำขวด ทำฟิล์มพลาสติกสำหรับห่อของ

2.5.1.2 โพลิไวนิลคลอไรด์และโคพอลิเมอร์ (PVC) เป็นพลาสติกสังเคราะห์ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางมาก เพราะว่า PVC จะไม่ถูกกัดกร่อนด้วยสารเคมี และมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีหลากหลายได้อีกมาก การประยุกต์ใช้ของ PVC ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้วิธีผสมกับสารอื่นบางชนิด เพื่อปรับปรุงคุณภาพของPVCให้ได้ดียิ่งขึ้น ที่ผสมด้วยพลาสติกไซเซอร์ใช้ทำที่ปูพื้น สายยาง ส่วนประกอบตู้เย็น และของใช้ต่างๆภายในบ้านทำให้มีความอ่อนตัวหรือเหนียวขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้บางอย่างแต่กระบวนการที่ใช้ผลิตค่อนข้างยากและความแข็งแรงต่อการกระแทกจะต่ำ

2.5.1.3 โพลิโพรพีลีน (Ploypropylene = PP) เป็นพลาสติกอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้กันมาก และมีความสำคัญเป็นอันดับที่สาม เนื่องจากราคาถูก เพราะ สามารถสังเคราะห์ ได้จากปิโตรเลียม ราคาถูก ใช้ทำผลิตภัณฑ์ ต่างๆในอุตสาหกรรมมากมาย เพราะมันมีสมบัติที่ดีหลายอย่าง เช่นทนต่อสารเคมี ไม่ดูดความชื้น ทนความร้อนได้ดี มีความหนาแน่นต่ำ ผิวหน้าแข็งและมีรูปร่างเสถียร แต่มีความอ่อนตัวที่จะโค้งงอได้ มีจุดหลอมตัวที่ 165 องศาเซลเซียส ไอน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้ต่ำ เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก ค่าการหดตัว อยู่ที่ 1.00-2.50 % ประกอบกับราคาของโมโนเมอร์ถูกด้วย โครงสร้างและสมบัติ มีการแทนที่ไฮโดรเจนด้วยหมู่เมทิล (-CH 3) ทุกๆ2 อะตอมของคาร์บอนในโครงสร้างทำให้โพลิโพรพีลีนมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่อ่อนตัวน้อยลง การประยุกต์ใช้ ทำ

ของใช้ในบ้านและเครื่องไฟฟ้า ภาชนะบรรจุ อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ ขวดและภาชนะต่างๆ ใช้หุ้มกันชน ทำใบพัด ท่อน้ำ พรม ถุง และแผ่นฟิล์มสำหรับห่อของอื่นๆอีกมาก ผู้วิจัยโครงการนี้ทำการฉีดพลาสติกเพื่อให้ได้มาตรฐานโดยใช้พลาสติกชนิด PP

2.5.1.4 โพลิสไตรีน (Polystyrene = PS) เป็นพลาสติกตัวที่สี่ที่มีการใช้มาก โพลิสไตรีนอย่างเดียวเป็นพลาสติกที่ใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส แต่ค่อนข้างเปราะ นอกจากจะมีการผสมสารอื่น มีรูปร่างคงที่เมื่อนำไปทำแบบหล่อ จะมีการหดตัวเล็กน้อย ทำได้ง่าย ราคาถูก แต่ไม่ทน ต่อสภาพอากาศ และสารเคมี เป็นวัสดุฉนวนไฟฟ้า ที่ดี และมีสมบัติเชิงกลที่ใช้ได้ที่อุณหภูมิ ค่อนข้างจำกัด การประยุกต์ใช้ ทำชิ้นส่วนของรถยนต์ อุปกรณ์ เครื่องใช้ในบ้าน อุปกรณ์ที่ใช้ปรับหรือหมุนตลอดจนอุปกรณ์ ไฟฟ้าทั่วไป

2.5.1.5 โพลิอะครีโลไนไทรล์ (Polyacrylonitrile = PAN) เป็นพวกอะครีลิก มักใช้ทำพวกเส้นใย เพราะมีความแข็งแรงและเสถียรต่อสารเคมีบางครั้งยังใช้ทำ Comonomer ซึ่งเป็น Engineering thermoplastics มีสมบัติทนทานต่อความชื้นและตัวทำละลายดีมากๆการประยุกต์ใช้ในลักษณะเป็นเส้นใยเช่นเดียวกับขนสัตว์ เช่น ใช้ทำเสื้อกันหนาว ผ้าห่ม และใช้ทำ Comonomer

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกลของเทอร์โมพลาสติกชนิดต่างๆ

ชนิดพอลิเมอร์	ความต้านทานแรงดึง	ร้อยละการหดตัว	มอดุลัสยืดหยุ่น (psi)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	แรงกระแทกไอซอด (ft.lb/in)	การใช้งาน
โพลิเอทิลีน (PE)						ฟิล์มบรรจุภัณฑ์ ฉนวน หุ้มสายไฟ ขวด ท่อ เครื่องใช้ภายในบ้าน
Ultrahigh Molecular Weight	7000	350	100000	0.934	30	
โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC)	9000	100	600000	1.4		
โพลิโพรพิลีน(PP)	6000	700	220000	0.9	1	
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. วัสดุวิศวกรรม Engineering Materials.กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2548

สูตรคำนวณค่าหดตัวของชิ้นงาน

การหดตัวของชิ้นงานจะคำนวณจากชิ้นงานทดสอบ

$$\text{อัตราการหด} = \frac{\text{ขนาดของแม่พิมพ์} - \text{ขนาดของชิ้นงาน}}{\text{ขนาดของแม่พิมพ์}} \qquad (2.2)$$

2.6 ทฤษฎีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) และช่วยในการผลิต (CAM)

2.6.1 CAD

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

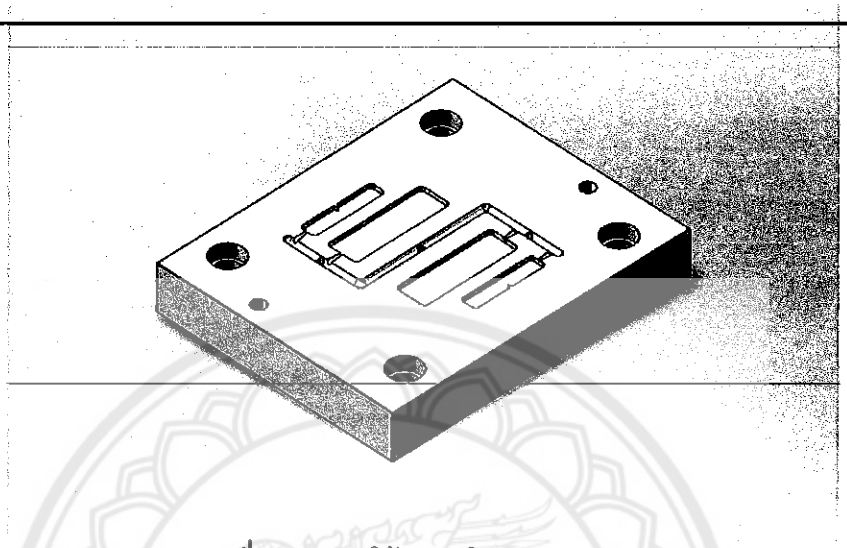
2.6.1.1 พัฒนาแบบจำลองชิ้นส่วนจากแบบที่ได้รับ

2.6.1.2 ประเมินและแก้ไขข้อมูล CAD ของชิ้นส่วนที่ออกแบบบนระบบ CAD เพื่อให้ยอมรับได้ในการผลิต

2.6.1.3 เปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนที่ออกแบบเพื่อให้สามารถผลิตได้สิ่งนี้อาจรวมถึงการเพิ่มมุมสอบ (Draft angle) หรือพัฒนาแบบจำลองของชิ้นส่วนที่แตกต่างกันออกไป สำหรับขั้นตอนที่แตกต่างกันในกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน

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

การใช้ CAD ในการสร้างออกแบบรูปร่างชิ้นส่วนสามารถทำได้ 3 ลักษณะดังนี้ คือ ปริมาตรตัน (Solid) ปริมาตรพื้นผิว (Surface) และโครงลวด (Wire frame) ซึ่งในแต่ละแบบจะเหมาะกับงานเฉพาะอย่าง



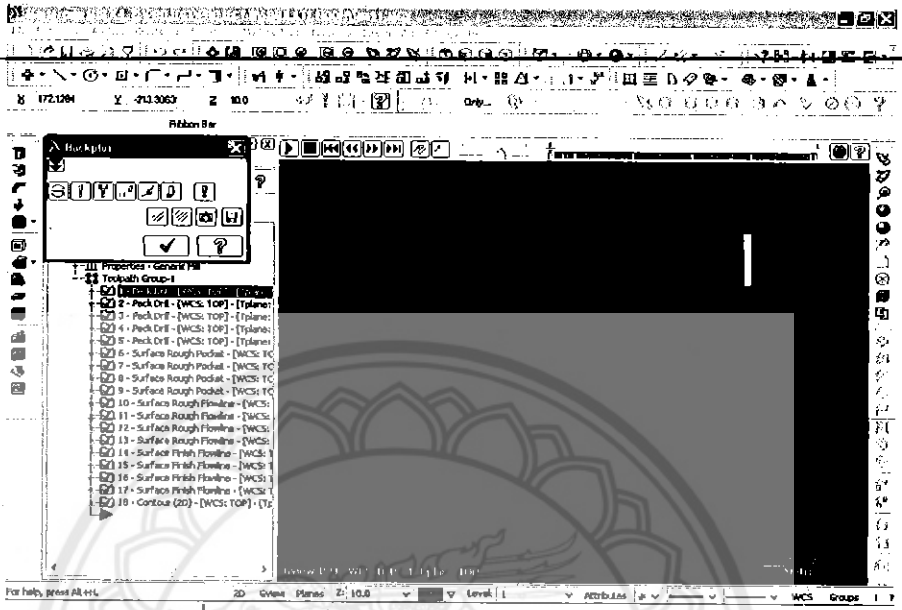
รูปที่ 2.16 การใช้ CAD ในการออกแบบ

นอกจากนี้การใช้ CAD ในการสร้างชิ้นส่วนแล้วปัจจุบัน CAD Software บางตัวยังสามารถใช้ในงานวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse engineering) ได้คุณภาพของพื้นผิวที่สร้างขึ้นมาจากซอฟต์แวร์วิศวกรรมย้อนกลับส่วนมากขึ้นอยู่กับ 2 องค์ประกอบ คือ คุณภาพของแบบจำลองหรือส่วนประกอบที่นำมาสแกนและคุณภาพของข้อมูลเชิงตัวเลข บางครั้งในการทำงานจริงเราไม่สามารถได้แบบจำลองที่สมบูรณ์หรือคุณภาพของข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้ไม่ดี เนื่องจากชิ้นส่วนชำรุดหรือถูกทำลาย CAD Software บางตัวสามารถแก้ไขปัญหาพื้นผิวของแบบจำลองในบริเวณที่ชำรุดได้ หรืออาจแต่งเติมดัดแปลงให้ดีกว่าของเดิมที่สแกนมาได้ ทฤษฎีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต

2.6.2 CAM

ซึ่งเป็นคำที่ใช้ย่อของ 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



รูปที่ 2.17 การใช้ CAM ในการสร้างรหัสจี (G-CODE)

2.7 ทฤษฎีโปรแกรม SolidWorks 2007 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ

SolidWorks2007เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบที่เกิดจากการนำเอาข้อดี และความคุ้นเคยในการทำงานของโปรแกรมอื่นๆ นำมาประสมประสานจนทำให้เป็นโปรแกรมที่ใช้งานได้ง่าย เป็นโปรแกรมที่เรียนรู้ได้ง่ายสำหรับผู้ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลโปรแกรม Solid Works ช่วยลดเวลาในการเขียนถ่ายทอดแนวคิดด้วยการร่างเส้น (Sketch), Solid Works เป็นโปรแกรมช่วยในการออกแบบ ในการสร้างชิ้นส่วน (Part) ด้วยแบบจำลองทางเรขาคณิตใช้ในการสร้างชิ้นส่วน หรือเรียกว่า แบบจำลอง (Model) และแบบจำลองนี้สามารถแสดงเป็นแบบ (Drawing) การทดลองประกอบด้วยระบบสามมิติ,การสร้างแบบจำลองภาพที่เหมือนจริง, การถอดแบบเป็นแบบสั่งงานที่แสดงรายละเอียด ทั้งยังปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานได้ง่าย และสามารถเชื่อมต่อกับโปรแกรมอื่นๆ เพื่อทำงานด้าน CAD/CAM/CAE ได้อย่างสมบูรณ์

Solidworks เป็นโปรแกรมเขียนแบบและออกแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในงานออกแบบผลิตภัณฑ์ ออกแบบชิ้นส่วนเครื่องกล ชิ้นงานต่างๆตามที่ต้องการในรูป 3 มิติ ซึ่งมีฟังก์ชั่นการใช้งานดังต่อไปนี้

การสร้าง Part Solid ใช้วิธีการ และเทคโนโลยีของ Surface Modeling (NURBS)

15 92 1880
ม.ร.
23781
2554

2.7.1 Assembly Modeling

สามารถประกอบชิ้นส่วน 3 มิติ ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยมีขนาดของไฟล์เล็กลง และใช้หน่วยความจำน้อย

2.7.2 Drawing สร้าง Drawing 2 มิติ จาก 3มิติ โดยอัตโนมัติ และ บันทึกไฟล์เป็น *dwg ได้

2.7.3 Simulation ใช้ทดสอบการเคลื่อนที่ และตรวจสอบหาชิ้นส่วนที่ขัดกัน

2.7.4 Animator สร้างภาพเคลื่อนไหวแสดงการทำงานของชิ้นส่วน หรือเครื่องจักรกล และสามารถบันทึกไฟล์เป็น *AVI (ไฟล์วีดีโอ)ได้

2.7.5 Sheet Metal สามารถสร้างงานพับแบบต่างๆ และทำแผ่นคลี่งานโลหะแผ่นได้

2.7.6 Module การใช้งานอื่นๆ เช่น การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เบื้องต้น เมื่อเปิดโปรแกรม SolidWorks

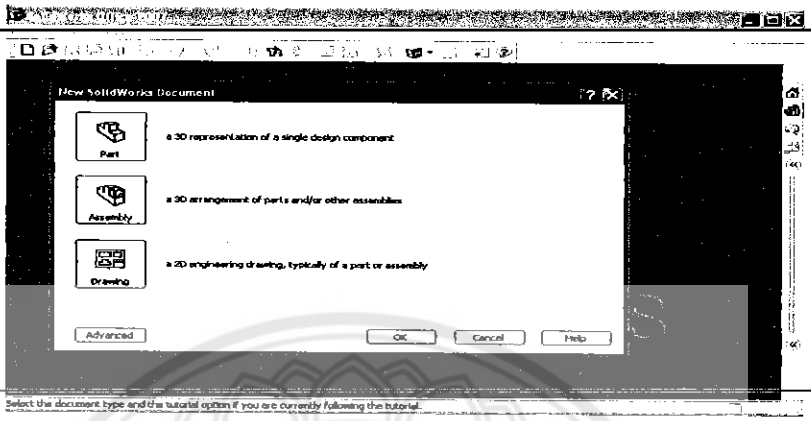
2.7.7 การเปิดใช้ซอฟต์แวร์ SolidWorks 2007

ซอฟต์แวร์ SolidWorks 2007 ใช้งานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ Graphic User Interface ของ Microsoft Windows หลังจากติดตั้งซอฟต์แวร์เสร็จสิ้นจะปรากฏไอคอน อยู่บนเดสก์ทอปของวินโดวส์ เมื่อเรียกใช้งานซอฟต์แวร์จะปรากฏหน้าต่างแรก ดังรูปที่ 2.18

รูปที่ 2.18 หน้าต่างโปรแกรม

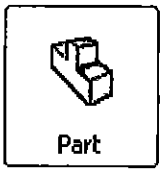
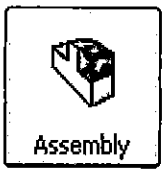
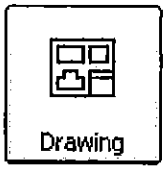
2.7.8 ชนิดของไฟล์ในโปรแกรม Solidworks

เมื่อคลิกไอคอน New ก็จะปรากฏหน้าต่างรูปที่ 2.19 ซึ่งประกอบด้วยไฟล์ที่มีนามสกุลต่าง ๆ ตามลักษณะการใช้งานดังนี้

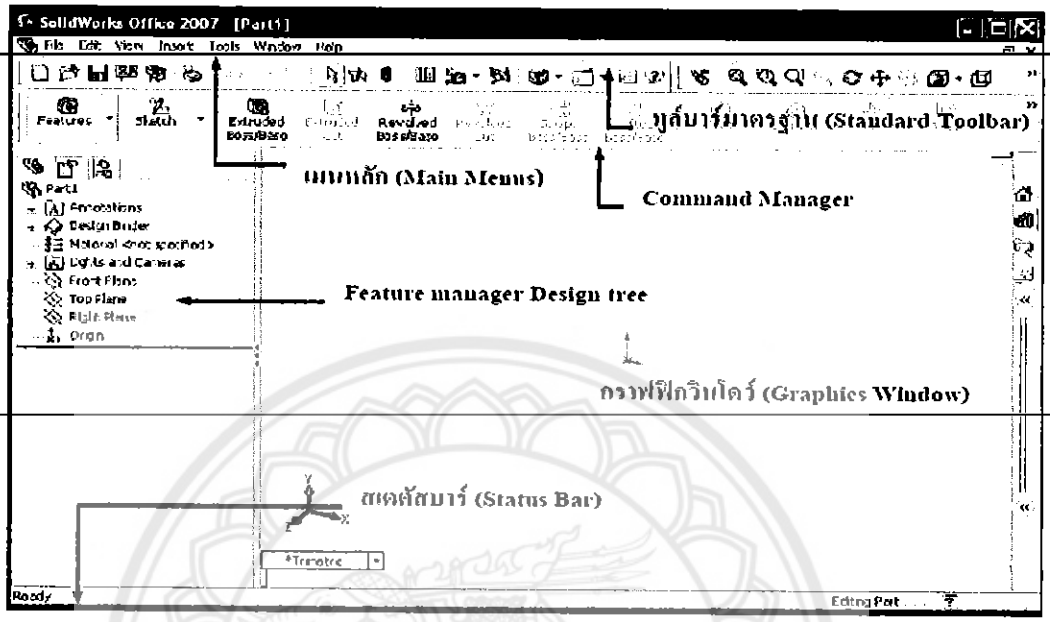


รูปที่ 2.19 เลือกไอคอนที่ต้องการสร้าง

ตารางที่ 2.3 หน้าที่การใช้งานเริ่มต้นแต่ละคำสั่งของโปรแกรม

ไอคอน	ชื่อคำสั่ง	หน้าที่
	เทมเพลทชิ้นส่วนเดี่ยว	เปิดไฟล์ใหม่สำหรับใช้สร้างชิ้นส่วน (part) หนึ่งไฟล์จะมีเพียงชิ้นส่วนประกอบเดียวเท่านั้น สามารถสร้างให้เป็น 2 มิติหรือ 3 มิติก็ได้ส่วนใหญ่นิยมสร้างเป็นชิ้นส่วน 3 มิติ
	เทมเพลทชิ้นส่วนรวม	เปิดไฟล์ใหม่สำหรับสร้างชิ้นส่วน ไฟล์ชิ้นส่วนเดี่ยว หรือไฟล์ชิ้นส่วนประกอบย่อย (Sub assemblies) มาประกอบรวมกัน
	เทมเพลทเขียนแบบ	เปิดไฟล์ใหม่สำหรับการเขียนแบบ ที่ใช้สร้างงานเขียนแบบสั่งงานผลิต (Drawing) โดยการนำไฟล์ part หรือไฟล์Assembly มาวางในไฟล์นี้ สามารถกำหนดขนาดและสัญลักษณ์ในการเขียนแบบต่าง ๆ เพื่อนำไปสั่งงานผลิตชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้

โปรแกรม SolidWorks จะรันอยู่บนระบบปฏิบัติการ ซึ่งมีเมนูบาร์ ทูลบาร์ต่าง ๆ ให้ใช้งานอย่างง่ายๆ เหมือนโปรแกรมอื่นๆที่รันบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ทั่วไป จะมีส่วนประกอบต่างๆ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของโปรแกรม

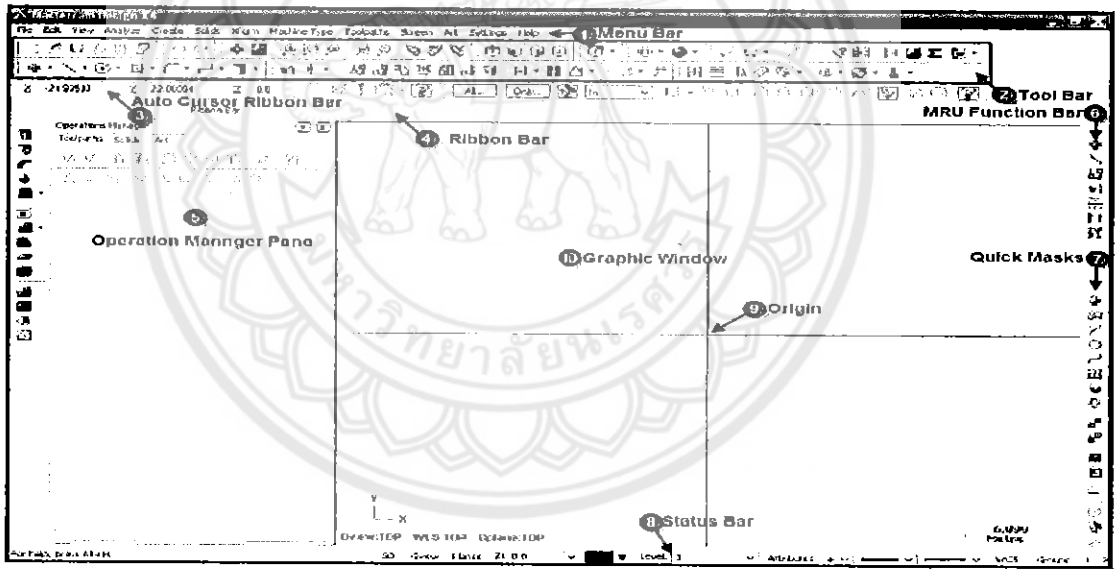
ที่มา: ผศ.ดร. จตุรงค์ ลังกาพินธุ์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Main Menus	เป็นแถบคำสั่งที่เรียกใช้งาน โดยใช้เมาส์เลือกจะแสดงชื่อ
Standard toolbar	เป็นคำสั่งมาตรฐานของวินโดว์และโปรแกรม SolidWorks และเป็นที่อยู่
Command Manager	ของแถมเครื่องมือของโปรแกรม SolidWorks สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามผู้ใช้ต้องการ
Feature manager	เป็นที่อยู่ของ Browser จะแสดงประวัติขั้นตอนการทำงานว่าใช้เครื่องมือ
Design tree	ชนิดใด วิธีใดมาบ้าง และพร้อมที่จะแก้ไขได้ตลอดเวลา
Graphics Window	เป็นพื้นที่ที่ใช้เขียนแบบ 2 มิติและ 3 มิติ
Status Bar	เป็นตำแหน่งที่แสดงข้อความบอกให้ทราบว่าคุณทำงานถึงขั้นตอนไหน และ เป็นสิ่งที่จะคอยอธิบายให้คุณทำอะไรต่อไป

2.8 ทฤษฎีโปรแกรม Mastercam X4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต

Mastercam X4 คือโปรแกรม CAD/CAM ที่คิดค้นและพัฒนาขึ้นมาเพื่อรองรับโรงงานอุตสาหกรรม ที่ใช้เครื่องจักรCNC โดยมีจุดประสงค์ที่พัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเพื่อให้รองรับการทำงานกับเครื่องจักร CNC ได้ทุกประเภท สามารถสร้าง Toolpath ให้กับเครื่องจักร CNC ได้ทุกประเภท สามารถปรับแต่งคุณสมบัติการแสดงผล และการทำงานให้มีความละเอียด สามารถคำนวณ Toolpath ที่ดีที่สุด และจะเปลี่ยนแปลงโดยอัตโนมัติเมื่อมีการแก้ไขงานจะสร้าง Toolpath ที่มีคุณภาพสูงที่สุดมีความยืดหยุ่นสูง สามารถทำงานร่วมกับโปรแกรม CAD อื่นๆ คำสั่งการใช้งานสำหรับการออกแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ใช้ได้อย่างกว้างขวาง ละเอียดและแม่นยำที่สุดเพื่องานที่ดีที่สุด

2.8.1 Mastercam X4 เป็นโปรแกรมช่วยในการสร้างทางเดินมีดกัด และ Simulate จำลองการเคลื่อที่หาข้อบกพร่อง เพื่อปรับเปลี่ยนค่า ให้มีความแม่นยำในการกัดงานได้ดีและ Generate Code (NC-Code) ให้มีความแม่นยำในการกัดงานได้ดี เพื่อนำไปใช้กับเครื่อง CNC ใช้กัดชิ้นงานให้เป็นรูปแบบที่ต้องการ



รูปที่ 2.21 หน้าต่างโปรแกรม

ส่วนที่ 1 Menu bar

ส่วนที่ 2. Toolbar

ส่วนที่ 3 Auto Cursor Ribbon bar

ส่วนที่ 4. Ribbon Bar

ส่วนที่ 5. Operation Manager Pane (Tool Path solid Art Manager)

ส่วนที่ 6. MRU Function bar (Most Recently Used)

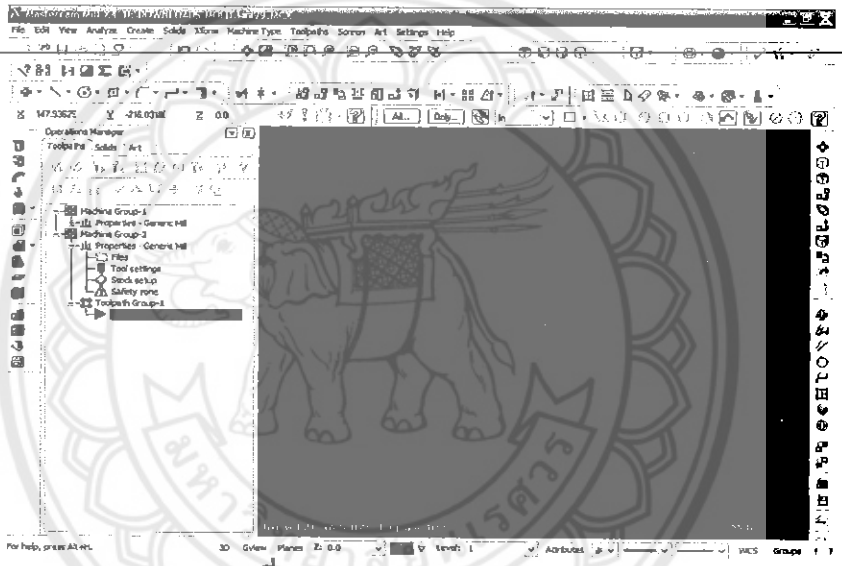
ส่วนที่ 7. Quick Masks

ส่วนที่ 8. Status bar

ส่วนที่ 9. จุด Origin

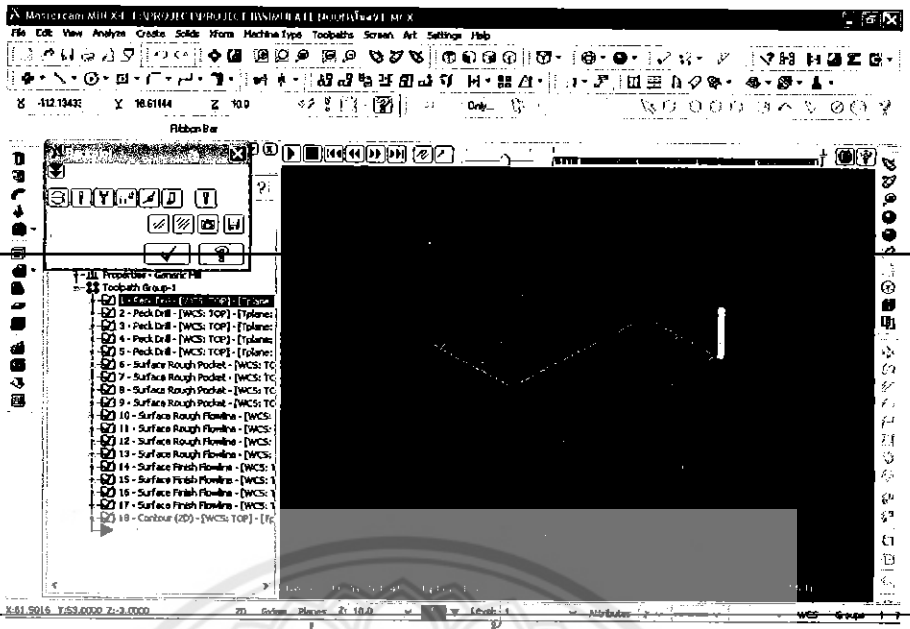
ส่วนที่ 10 Graphics Window

2.8.1.1 ในส่วนของโปรแกรมแบ่งประเภทรองรับงานหลักๆ ดังนี้



รูปที่ 2.22 งานออกแบบ (Design)

สามารถปรับเปลี่ยนแก้ไขรูปทรงได้ตามต้องการโดยมีไอคอนการแก้ไขรูปทรงมาตรฐานทั่วไป เช่น Trim/Break/Extend/Filleft/Chamfer ซึ่งจากรูปทรง 2 มิตินั้นสามารถขึ้นรูปทรงสามมิติโดยใช้ฟังก์ชั่น Solid, Surface ที่สามารถขึ้นรูปทรงได้ง่ายและรวดเร็วไม่ซับซ้อนและยังสามารถกลับไปแก้ไขรูปทรงภายหลังได้ที่แถบของ Solid Manager การสร้างรูปทรง 3 มิตินั้นยังมีผลต่อการสร้างงานกัด (CAM) เมื่อรูปทรงของชิ้นงาน 3 มิติมีการเปลี่ยนแปลง Toolpaths ของงานกัดที่สร้างไว้ก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 2.23 งานผลิตชิ้นส่วน (Part)

งานกัดประเภท 2 แกนครึ่ง หรือ 2+1 สามารถสร้าง Toolpaths ได้ง่ายและหลากหลายโดย จุดเด่นของงานประเภทนี้สามารถสร้างจากเส้นรูปทรงสองมิติได้โดยไม่จำเป็นที่จะต้องสร้างชิ้นงานให้เป็น 3 มิติ สามารถเขียนรูปทรง 2 มิติได้ในตัวของโปรแกรมเองหรือนำเข้ามาจากโปรแกรมอื่นๆ เช่น Autocad(*.DWG, *.DFX)โดยไม่ต้องแปลงไฟล์ เพราะในตัวโปรแกรม Mastercam รองรับไฟล์ CAD ได้ถึง 24 นามสกุล ไม่ว่าจะเป็นไฟล์โดยตรง เช่น AutoCAD, Solidwork, Inventor และอื่นๆหรือประเภทไฟล์กลางประเภทนามสกุล STEP,IGES, STL Parasolid และไฟล์อื่นๆ

ทั้งนี้สามารถทำงานได้กับเครื่องจักรทุกยี่ห้อไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรจากประเทศอเมริกา, ยุโรป, ญี่ปุ่น, ไต้หวัน เป็นต้นโดย Mastercam X3 มีจุดเด่นหลักๆที่ทำให้ user ต่างๆเลือกใช้และชอบคือ เรียนรู้ง่ายและเร็วสามารถทำงานกับเครื่องจักรต่างๆได้ง่าย, การทำงานไม่วุ่นวายซับซ้อนเป็น Software ที่ค่อนข้างเสถียรและคุณภาพงานที่ดีเป็นที่ยอมรับไปทั่วโลก

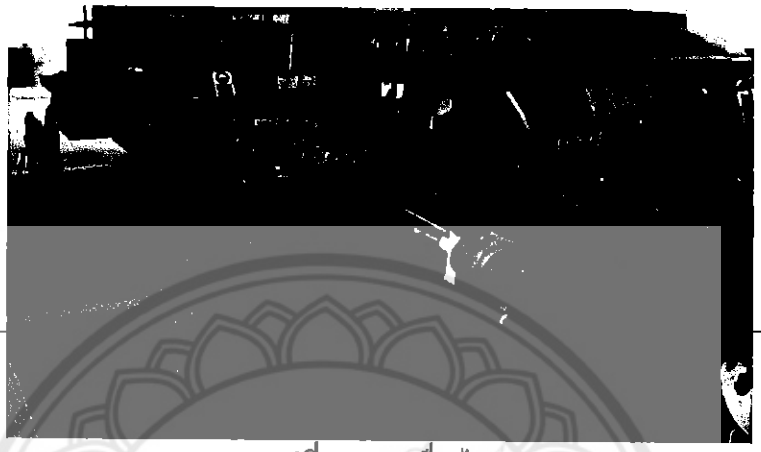
Mastercam X4 สามารถใช้ไฟล์งานจากโปรแกรมอื่นๆ ได้โดยตรง ได้แก่ IGES,Parasolid,SAT (ACISsolids),AutoCAD(DXF,DWG,Invertor),SolidsWork,SolidEdge,STEP,EPS,CSDL,STL,VDA, ASCII, และยังสามารถเพิ่มเติมไฟล์อื่นๆ ที่ต้องการได้ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มไอคอนการแปลงค่าการแสดงผลมายัง MastercamX4 ในโปรแกรม SolidWork,SolidEdge และ AutoCAD Invertor

2.9 เครื่องจักร (Machinery) ที่ใช้ในการสร้างแม่พิมพ์

เครื่องจักรที่ใช้ในการตัดเฉือนโลหะในการสร้างแม่พิมพ์ แต่ละประเภทจะมีคุณสมบัติที่ต่างกันมีลักษณะเฉพาะในการทำงานของแต่ละประเภท และเครื่องจักรที่ใช้มีดังนี้

2.9.1 เครื่องไส (Shaping)

เป็นเครื่องจักรที่ออกแบบใช้สำหรับงานตัดเฉือนผิวโลหะ เพื่อให้ได้ผิวที่เรียบ มีขนาดและรูปร่างตามต้องการ ใช้ผลิตแผ่นแม่พิมพ์ แผ่นยึดแม่พิมพ์ แผ่นรองรับแม่พิมพ์ แท่นรอง เหล็กที่มาทำชิ้นงานจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าขนาดจริงที่ต้อง จากนั้นนำมาปาดผิวให้ได้ขนาดตามต้องการ



รูปที่ 2.24 เครื่องไส

2.9.2 เครื่องเจาะ (Drilling)

เป็นเครื่องเจาะที่เหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดมากและความเที่ยงตรงสูง เพื่อใช้ในการเจาะรู ร้อยสกรูสำหรับยึดแม่พิมพ์ เจาะรูทำเกลียว เจาะรูสำหรับปลดสลัก และสลักดันกลับ

รูปที่ 2.25 เครื่องเจาะ

2.9.3 เครื่องกลึง (Lathe)

ใช้สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานให้มีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกระบอกโดย ชิ้นงานจะหมุน มีดกลึงจะยึดอยู่กับที่แล้วเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน การกลึงใช้ผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่มีลักษณะเป็นทรงกลมเป็นส่วนมาก ผลิตปลอกนำ เพลานำ ปลอกรองรับเพลาดันขับ สลักดันกลับปลอกเพลาดันปลด และยังสามารถผลิตชิ้นส่วนของเบ้าและคอร์ได้ ในกรณีที่เป็นรูปร่างทรงกระบอกชิ้นงานที่มีรูปร่างเป็นเกลียวนอกและเกลียวใน เช่น เกลียวที่ปลายของเพลากระทุ้ง ส่วนเบ้าหรือส่วนคอร์ที่เป็นเกลียว การกลึงมีหลายวิธีเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างตามต้องการ

รูปที่ 2.26 เครื่องกลึง

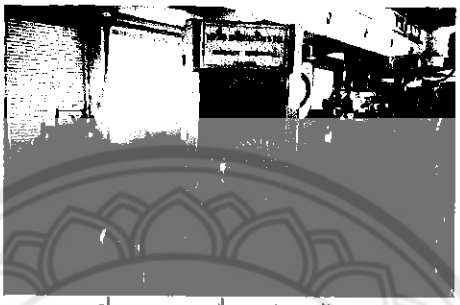
2.9.4 เครื่องกัด (Milling)

เป็นเครื่องจักรกลที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ได้มากมายโดยตัดเฉือนแผ่นแม่พิมพ์ในลักษณะของการปาดผิวด้วยมีดกัดที่มีรูปทรงต่างๆ กันให้เป็นแอ่งหรือเบ้าที่ต้องการได้ นอกจากนี้การใช้มีดกัดที่มีรูปฟอร์มหน้าตัดแบบต่างๆ จะทำให้สามารถกัดชิ้นงานให้มีรูปร่างตามต้องการได้

รูปที่ 2.27 เครื่องกัด

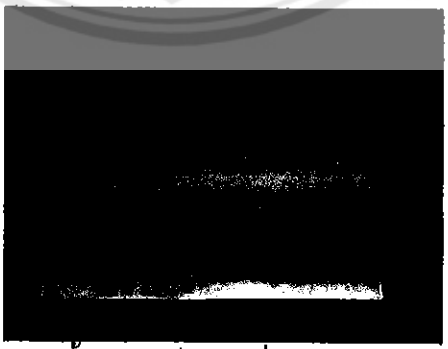
2.9.5 เครื่องเจียระไนราบ (Grinding)

ทำการเจียแผ่นอิมเพรสชิ่นเคลื่อนที่ เหล็กแผ่น (P20) และเหล็ก M202 สร้างเป็นชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ ใช้ผลิตชิ้นส่วนที่ต้องสวมประกอบเข้าด้วยกัน เช่น ผิวของแผ่นแม่พิมพ์ชิ้นส่วนที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงและมีผิวสัมผัสที่เรียบเสมอกัน โดยจะทำการเจียระไนลดขนาดชิ้นส่วนเหล่านี้ โดยใช้หินขัดไปทำการตัดเฉือนชิ้นงาน เครื่องเจียระไนราบ (Surface grinding) ใช้สำหรับงานเจียระไนผิวราบให้เรียบแบนขนาน



รูปที่ 2.28 เครื่องเจียระไนราบ

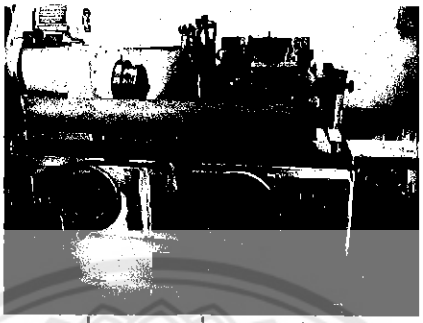
รูปที่ 2.29 เหล็กแผ่นที่ถูกเจียรปาดหน้าเรียบ



รูปที่ 2.30 ชิ้นงานเหล็กแผ่นที่ถูกเจียรปาดหน้าเรียบ

2.9.6 เครื่องเจียระไนกลม (Cylindrical grinding)

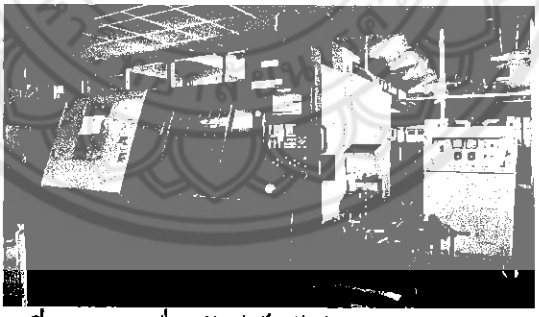
ใช้สำหรับผลิตชิ้นส่วนทรงกระบอก สามารถเจียระไนทั้งผิวนอกและผิวภายในของชิ้นงานให้มีความเที่ยงตรง และคุณภาพความละเอียด ของผิวตามที่ต้องการ ผลิต เพลานำ สลักดันกลับ สลักปลดชิ้นงาน สลักดึงชิ้นงานจากแกนรูฉีด



รูปที่ 2.31 เครื่องเจียระไนกลม

2.9.7 เครื่องกัดซีเอ็นซี

ทำการกัดร่องทางเดินน้ำพลาสติก (Runner) และทำการเจาะรูของแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่ โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 ของสถาบันพัฒนาฝีมือแรงงานภาค 3 ชลบุรี ณ ห้องปฏิบัติการซีเอ็นซี แผนกช่างกลโรงงาน ซึ่งเป็นเครื่องกัดซีเอ็นซีแบบ 3 แกน ในการกัดแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่

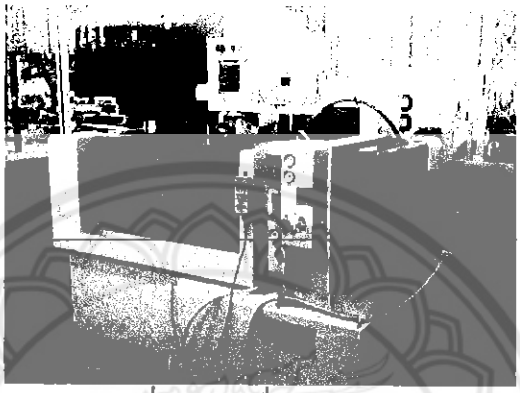


รูปที่ 2.32 เครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250

รูปที่ 2.33 กัดชิ้นงานด้วยเครื่องจักร CNC รุ่น Mazak FJV-250

2.9.8 เครื่อง Wire Cut

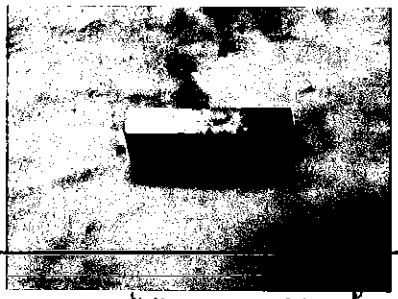
ใช้อิเล็กโทรดเป็นตัวตัดเฉือนชิ้นงานมาใช้ลวดเป็นตัวตัดให้ได้รูปร่างตามต้องการในแนวตั้ง เครื่อง Wire cut เป็นเครื่องที่ตัดงานด้วยความเที่ยงตรงขนาดสูงมาก สามารถควบคุมขนาดได้เล็กกว่า 5 ไมครอน ในการทำชิ้นงานจึงเหมาะกับงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง ทำการตัดทองแดงเป็นรูปชิ้นงาน ณ อาคารปฏิบัติงาน สาขาวิศวกรรมแม่พิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่



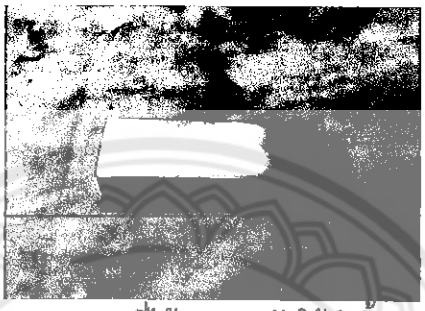
รูปที่ 2.34 เครื่อง Wire cut

รูปที่ 2.35 แผงควบคุมเครื่อง Wire cut

รูปที่ 2.36 การตัดชิ้นงานทองแดง



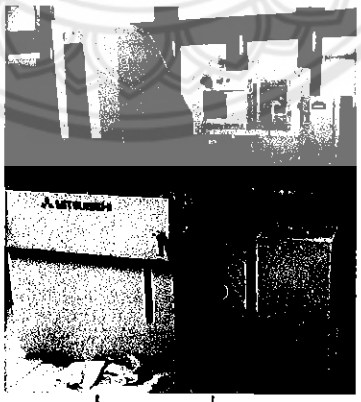
รูปที่ 2.37 ชิ้นงานทองแดงที่ได้จากการตัดใช้ทำชิ้นงาน ASTM D256



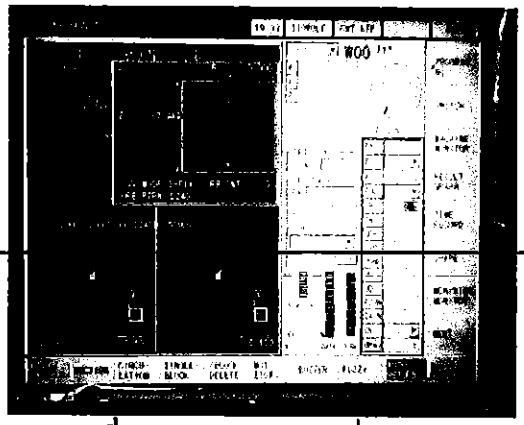
รูปที่ 2.38 ชิ้นงานทองแดงที่ได้จากการตัดใช้ทำชิ้นงาน ASTM D790

2.9.9 เครื่อง EDM (Electrical Discharge Machining)

ใช้ในงานผลิตชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนที่ทำด้วยวิธีการตัดเฉือนทั่วไปได้ยาก สามารถตัดเฉือนแผ่นเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งมาแล้ว ใช้ผลิตส่วนเบ้าของแม่พิมพ์ การตัดเฉือนโลหะจะใช้การกัดเซาะ (Spark) ทางไฟฟ้ามีอิเล็กโทรดเป็นตัวนำไฟฟ้าให้เป็นอิมเพรสชั่น ณ อาคารปฏิบัติงาน สาขาวิศวกรรมแม่พิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่

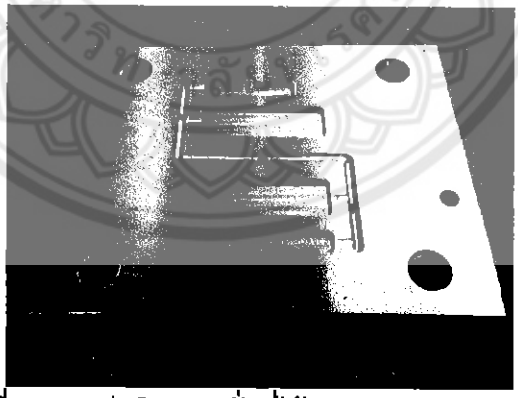


รูปที่ 2.39 เครื่อง EDM



รูปที่ 2.40 แผงควบคุมเครื่อง EDM

รูปที่ 2.41 การ Spark ทำรูปชิ้นงาน



รูปที่ 2.42 แผ่นอิมเพรสชั่นที่ได้จากการกัด และ Spark

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 จัดทำข้อเสนอโครงงาน

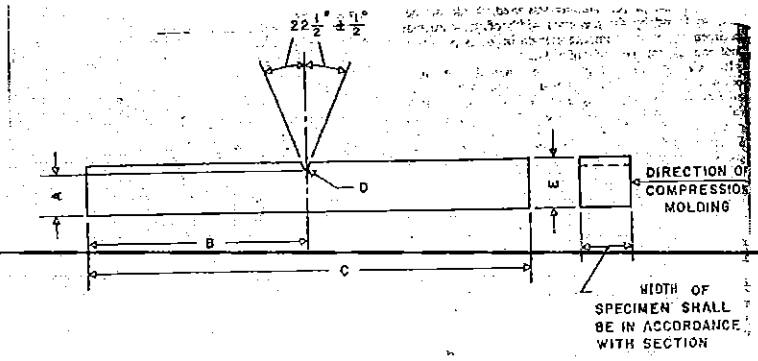
เป็นการคัดเลือกและศึกษาหัวข้อโครงงานที่จะทำการดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาและพัฒนาหัวข้อที่เลือกและนำเสนอโครงงาน

3.2 ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐาน ASTM

ASTM (American Society for Testing and Materials) นับได้ว่าเป็น สมาคมวิชาชีพทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีที่กำหนดและจัดทำมาตรฐานซึ่งเป็นที่นิยมใช้ และเป็นที่ยอมรับทั่วโลกสมาคม ASTM จัดตั้งขึ้นในสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ. 1989 ทำหน้าที่ส่งเสริมสนับสนุนทางด้านวิชาการเพื่อเป็นการช่วยเหลืออุตสาหกรรมหน่วยงานของรัฐและสาธารณชนทั่วไปโดยการพัฒนามาตรฐาน ที่เกี่ยวข้องกับ ลักษณะและการทำงาน ของวัสดุ ผลิตภัณฑ์ การบริการ ระบบการใช้งานในการทดลองการปฏิบัติงานภาคอุตสาหกรรมเนื่องจากยังไม่มีชิ้นงานทดสอบจึงต้องการแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อที่จะนำไปฉีดเป็นชิ้นงานพลาสติก ตามมาตรฐาน ASTM D256 เพื่อนำไปทดสอบหาสมบัติเชิงกลของ การรับแรงกระแทกของชิ้นงาน (Impact Test) และ ASTM D790 ทดสอบหาสมบัติเชิงกลของการดัดงอของชิ้นงาน (Flexural test) เพื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการทดสอบสมบัติเชิงกลชิ้นงานพลาสติกประเภทต่างๆและเลือกประเภทชิ้นงานที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีหรือเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานตามความต้องการ เช่น การรับแรงของเก้าอี้พลาสติก การดัดงอของไม้เทนนิส กลุ่มข้าพเจ้าจึงได้จัดทำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ฉีดได้ ตามมาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790

3.2.1 ชิ้นงานทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM D256

ชิ้นงานทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM D256 เป็นชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบหาสมบัติในการรับแรงกระแทกของชิ้นงานนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการทดสอบพลาสติกประเภทต่างๆ เพื่อนำไปออกแบบและสร้างชิ้นงานที่สามารถรับแรงกระแทกได้ตามความต้องการทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดีตามมาตรฐานความคงทนและแข็งแรง และขนาดของชิ้นงานมีความกว้าง (E) 12.7 ± 0.15 mm. ความกว้างหลังรอยบาก (A) 10.16 ± 0.15 mm. ความยาว (C) 60.3 - 63.5 mm. ความหนา (F) อยู่ในช่วงระหว่าง 3.0 - 12.7 mm. ตัว (D) ขนาด 45° ± 0.5 ° ระยะจากปลายรอยบากถึงความยาวของชิ้นงาน (B) ขนาด 30.5 – 32.0 mm. แสดงดังรูป 3.1 และการทดสอบแรงกระแทก แสดงดังรูป 3.2



รูปที่ 3.1 ชิ้นงาน ASTM D256

ที่มา: ASTM D256. 1996 S T M and Electrial Insulating Materials . ilade ia : A erican S ciet r Testing and Materials.

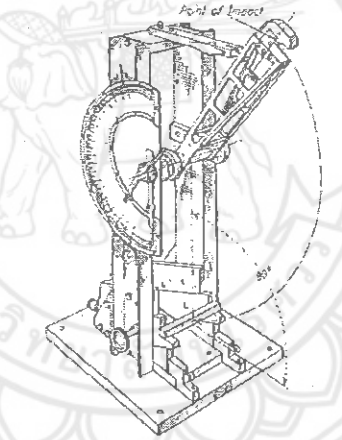


FIG. 5 Simple Beam (Charpy-Type) Impact Machine

รูปที่ 3.2 การทดสอบแรงกระแทก ASTM D256

ที่มา: ASTM D256. 1996 Standard Test Met ds r I act esistance lastics and Electrial Insulating Materials . *Philadephia : American Society For Testing and Materials.*

3.2.2 ชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D790

ชิ้นงานทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM D790 เป็นชิ้นงานเพื่อนำไปทดสอบหาสมบัติแรงดัดงอของชิ้นงาน นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับการทดสอบพลาสติกประเภทต่างๆ เพื่อนำไปออกแบบและสร้างชิ้นงานที่สามารถรับดัดงอได้ตามความต้องการทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดีตามมาตรฐานความ

คงทน และแข็งแรง ชิ้นงานมีขนาด ความกว้าง (A) 25 mm. ความยาว (B) 80 mm. ความหนา (C) 3.2 mm. แสดงดังตารางที่ 3.1

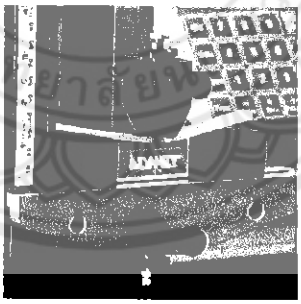
ตารางที่ 3.1 ขนาดชิ้นงานทดสอบ ตามมาตรฐาน ASTM D790

TABLE 1 Recommended Dimensions for Test Specimens of Sections 7.3 and 7.5 for Various Support Span-to-Depth Ratios (See Note 7)
Test Method I (3-Point Loading)

		Support Span-to-Depth Ratio (See Note 7)											
		L/d = 16 to 1			L/d = 32 to 1			L/d = 40 to 1			L/d = 60 to 1		
Nominal Specimen Depth, mm (in.)	Specimen Width, mm (in.)	Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A), mm (in.)/min[A]	Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A), mm (in.)/min[A]	Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A), mm (in.)/min[A]	Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A), mm (in.)/min[A]
3.2 (⅛)	25 (1)	50 (2)	16 (⅝)[B]	0.5 (0.02)	50 (2)	25 (1)	1.3 (0.05)	60 (2⅜)	30 (1¼)	2.0 (0.08)	60 (2⅜)	48 (1⅞)	4.8 (0.19)
1.6 (1/16)	25 (1)	50 (2)	25 (1)	0.8 (0.03)	80 (3)	50 (2)	2.6 (0.11)	90 (3½)	60 (2⅜)	4.3 (0.17)	124 (4⅞)	95 (3¾)	9.4 (0.37)
2.4 (3/32)	25 (1)	60 (2½)	40 (1½)	1.0 (0.04)	100 (4)	80 (3)	4.1 (0.16)	120 (4¾)	95 (3¾)	6.4 (0.25)	185 (7⅜)	143 (5⅝)	14.2 (0.56)
3.2 (⅛)	25 (1)	80 (3)	50 (2)	1.3 (0.05)	130 (5)	100 (4)	5.3 (0.21)	180 (7)	130 (5)	8.4 (0.33)	247 (9¾)	190 (7½)	16.8 (0.74)
4.8 (3/16)	25 (1)	100 (4)	80 (3)	2.0 (0.08)	191 (7½)	150 (6)	8.1 (0.32)	240 (9½)	191 (7½)	12.7 (0.50)	372 (14⅝)	285 (11¼)	25.4 (1.12)
6.4 (¼)	13 (½)	130 (5)	100 (4)	2.8 (0.11)	250 (10)	200 (8)	10.9 (0.43)	330 (13)	250 (10)	17.0 (0.67)	495 (19½)	381 (15)	37.6 (1.49)
9.6 (⅜)	13 (½)	191 (7½)	150 (6)	4.1 (0.16)	380 (15)	300 (12)	16.3 (0.64)	480 (19)	380 (15)	25.4 (1.00)	744 (29⅜)	572 (22½)	56.8 (2.24)
12.7 (½)	13 (½)	250 (10)	200 (8)	5.3 (0.21)	495 (19½)	410 (16)	21.6 (0.85)	640 (25)	510 (20)	34.0 (1.34)	991 (39)	762 (30)	76.2 (3.00)
19.1 (¾)	19 (¾)	380 (15)	300 (12)	8.1 (0.32)	740 (29)	610 (24)	32.5 (1.28)	840 (37)	760 (30)	50.8 (2.00)	1486 (58½)	1143 (45)	114 (4.49)
25.4 (1)	25 (1)	495 (19½)	410 (16)	10.9 (0.43)	990 (39)	810 (32)	43.4 (1.71)	1240 (49)	1020 (40)	67.8 (2.67)	1981 (78)	1524 (60)	152 (5.98)

[A] Rates indicated are for Procedure A, where strain rate is 0.01 mm/mm/min (0.01 in./in./min). To obtain rates for Procedure B, where strain rate is 0.10 mm/mm/min (0.10 in./in./min), multiply these values by 10. Procedure A is to be used for all specification purposes unless otherwise stated in the specifications. See 10.1.3 for the method of calculation.
[B] This support span-to-depth ratio is greater than 16 to 1 in order to give clearance between moving head and specimen support.

ที่มา: ASTM D790, 1996 " Standard Test Methods For Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials". Philadephia : American Society For Testing and Material.



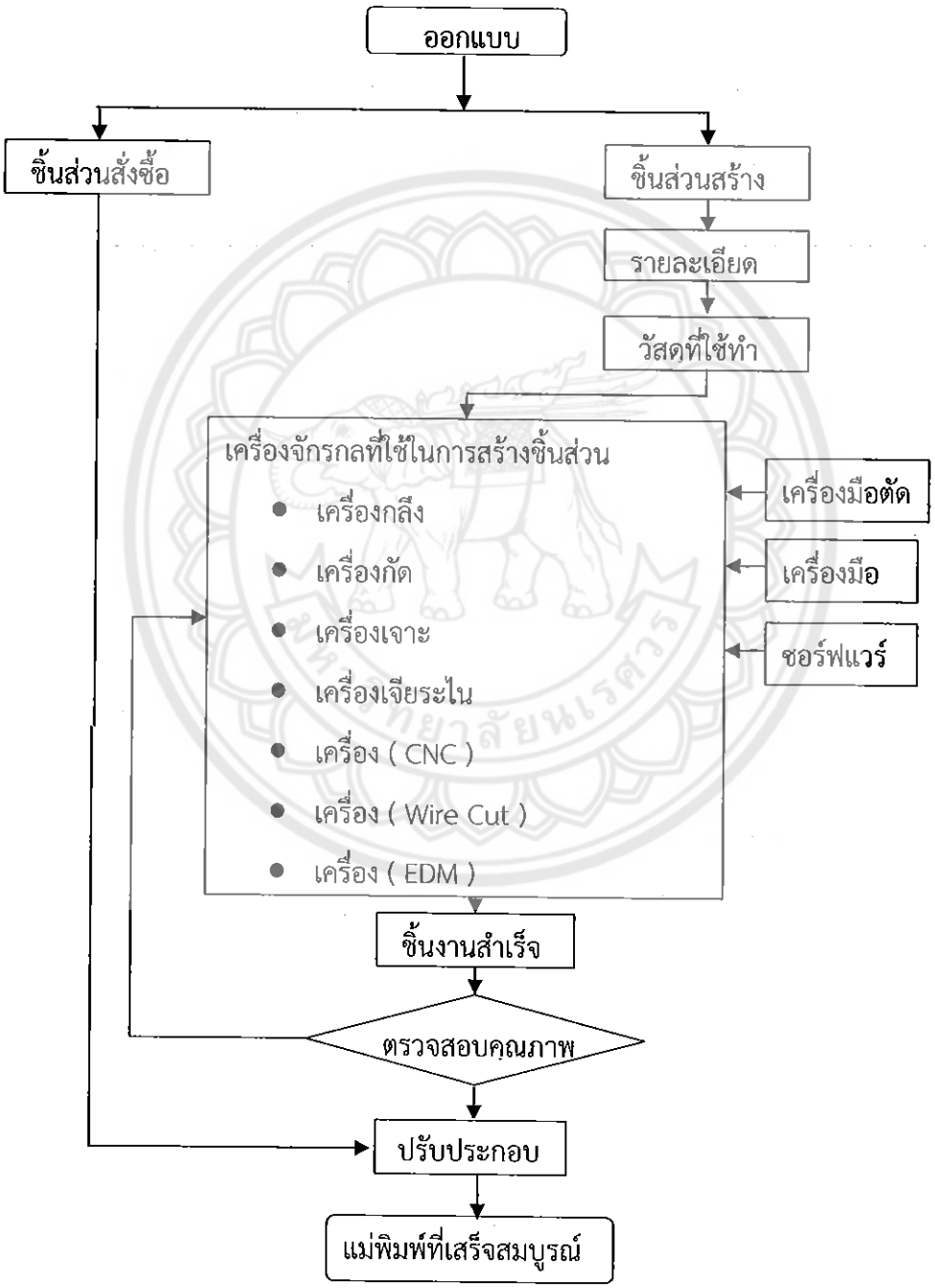
รูปที่ 3.3 การทดสอบการดัดงอ ASTM D790

ที่มา: ADMET Universal Testing System. " How to Perform an ASTM D790 Plastic Flexural 3 Point Bend Test. ".

3.3 ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับแม่พิมพ์

เป็นการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับแม่พิมพ์ ซึ่งจะใช้เหล็กในการทำแม่พิมพ์สำหรับใช้ในการฉีดขึ้นรูป Injection Molding ซึ่งแม่พิมพ์จะต้องมีความเหมาะสมในเรื่องของ ความแข็งแรง ทนทาน ไม่เป็นสนิม มีผิวเรียบ ทนต่อความร้อน ฯลฯ

การสร้างแม่พิมพ์มีลำดับขั้นตอนของการดำเนินงานตามรูป 3.4 ดังนี้



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์

3.4 ศึกษาการใช้โปรแกรม Solidworks Version 2007

Program Solidworks 2007 เป็นโปรแกรมที่เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูง คือ สามารถที่จะทำงานมากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานที่ต้องขึ้นเป็น Solid หรือ Surface เป็นแบบ 3 มิติ นำมาใช้ในการเขียนแบบของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก เหมาะสำหรับในงานออกแบบเขียนแบบ

เป็นการศึกษาการใช้โปรแกรมในการเขียนแบบและออกแบบ โดยศึกษาความรู้เบื้องต้นของ Solidworks 2007 หลักทั่วไปในการใช้และวิธีการใช้คำสั่ง SolidWorks 2007 ในการออกแบบให้ได้แผ่นเบ้าแม่พิมพ์ ขนาด 200X250X35 มิลลิเมตรตามมาตรฐาน DIN และชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

3.5 ศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam X4

เป็นการศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam X4 เพื่อทำงานร่วมกับโปรแกรม Solid Work 2007 ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยศึกษาความรู้พื้นฐานของโปรแกรม Mastercam X4 , โปรแกรมกัดงานในระบบ 3 แกน (3D Machianing Cycle) และขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม Mastercam X4 สามารถจำลองการเคลื่อนที่ในการกัดตามแบบที่ออกแบบไว้ได้ด้วย (Simulation)

3.6 ศึกษาการใช้งานเครื่องกัดซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250

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

3.7 ทำการกัดแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องกัดซีเอ็นซี

เป็นการปฏิบัติการใช้ Solidworks 2007 ช่วยในการออกแบบ ชิ้นส่วนต่างๆของแม่พิมพ์ ฉีดพลาสติกและโปรแกรม Mastercam X4 ช่วยในการผลิตสำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีในการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์

3.8 ศึกษาการใช้งานเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY50M

เป็นการศึกษาการใช้งานเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY 50M โดยศึกษาวิธีการใช้งานของเครื่องจักร,กลไก ระบบการทำงานการตั้งค่าต่างๆ และตัวแปลที่มีผลต่อการฉีด อุณหภูมิความร้อน เวลา แรงดัน ของเครื่องฉีดพลาสติก,ชุดควบคุมการเคลื่อนที่

3.9 ทำการทดสอบและฉีดพลาสติก

เป็นการทดสอบและฉีดขึ้นรูปพลาสติกจริงของแม่พิมพ์ที่ได้จากกระบวนการกัดจากเครื่องซีเอ็นซี เพื่อให้ได้ชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790 โดยใช้เครื่องฉีดพลาสติก ของอาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการในการฉีดขึ้นรูปพลาสติก

3.10 วิเคราะห์และสรุปผล

เป็นการวิเคราะห์และสรุปผลของการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ Solidworks 2007 (CAD) และ Mastercam X4 ช่วยในการผลิต (CAM) สำหรับเครื่องกัดซีเอ็นซีว่ามีข้อผิดพลาดและมีความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใดจากขนาดชิ้นงานที่ได้จากการฉีดขึ้นรูป

3.11 จัดทำเป็นรูปเล่มรายงาน

เป็นการจัดทำรูปเล่มรายงานโดยนำข้อมูลที่ได้จากการทำงานวิจัยโครงงานมารวบรวมเป็นเล่มรายงาน

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

4.1 จัดทำข้อเสนอโครงงาน

จากการที่ได้ทำการคัดเลือกและศึกษาหัวข้อโครงงานที่จะดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ซึ่งได้ หัวข้อที่จะศึกษาคือ การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกสำหรับชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790 โดยใช้โปรแกรม SolidWorks 2007 ในการออกแบบ (CAD) ซึ่งได้ทำการออกแบบเป็นรูปแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเพื่อทำงานร่วมกับโปรแกรม Mastercam X4 เพื่อใช้ในการเคลื่อนที่สร้างเส้นทางการเดินทางของมีด และสร้าง NC-code (CAM) และใช้เครื่อง ซีเอ็นซี รุ่น Mazak FJV-250 โดยใช้เครื่อง Wire cut ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FA10S สร้างรูปชิ้นงานตามแบบที่ทำจากทองแดงและใช้ เครื่อง EDM ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น EA8 ในการ Spark งาน เครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY 50R ที่ใช้ในการฉีดพลาสติกในการขึ้นรูปชิ้นงาน

4.2 การคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์

การคำนวณและกัดอิมเพรสชั่นเพิ่มเติมโดยกัดตามขนาดที่ได้จากค่าการคำนวณ ค่าการหดตัวของพลาสติก โพลิโพรพิลีน (PP) อยู่ที่ 1.00 - 2.50 % (ณรงศักดิ์,2548)

สูตรคำนวณค่าหดตัวของชิ้นงานทดสอบ

$$\text{อัตราการหด} = \frac{\text{ขนาดของแม่พิมพ์} - \text{ขนาดของชิ้นงาน}}{\text{ขนาดของแม่พิมพ์}} \quad (4.1)$$

(ที่มา: พงศ์ศักดิ์ วงรัศมีทอง บทความเรื่อง การศึกษาการหดตัวของชิ้นงานพลาสติกหลังจากการขึ้นรูป และอัตราการตกผลึกของ Cristalline Polymer ที่มีผลต่อความแข็งตัวของชิ้นงาน)

สูตรคำนวณหาขนาดของแม่พิมพ์

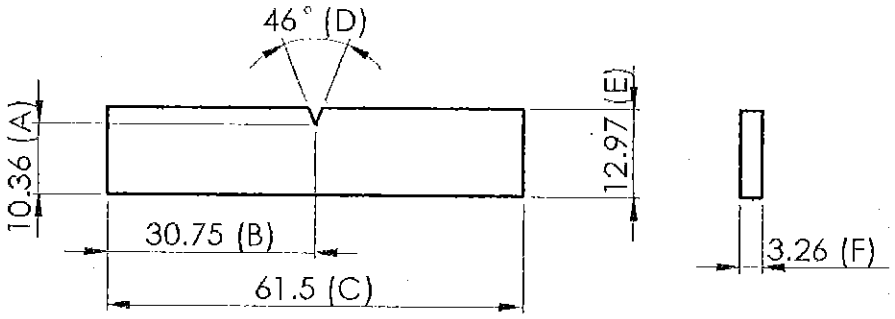
ขนาดของแม่พิมพ์ = ขนาดความของชิ้นงาน+(ขนาดความของชิ้นงาน x เปอร์เซ็นต์การหดตัว) (4.2)

(ที่มา: ผศ.ประสงค์ ก้านแก้ว บทความเรื่อง เปรียบเทียบค่าการหดตัวของพลาสติก)

ในการทำการทดลองกำหนดให้เปอร์เซ็นต์การหดตัวที่ 2% เนื่องจากค่าหดตัวของพลาสติกมีค่าอยู่ในช่วง 1.00 - 2.50% ทั้งนี้ค่าหดตัวของพลาสติกนั้นขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิและแรงดันที่ใช้ในการฉีด จึงได้คำนวณค่าเผื่อขนาดของอิมเพรสชั่นไว้ตามตารางที่ 4.1 สำหรับ ASTM D256 และตารางที่ 4.2 สำหรับ ASTM D790

ตารางที่ 4.1 การคำนวณขนาดของ ASTM D256

การวัดขนาด	ขนาดของแบบตามรูปชิ้นงาน	เปอร์เซ็นต์การหดตัว 2 %	คำนวณ	ขนาดของอิมเพรสชั่น
(E) ความกว้าง (mm.)	12.70	0.02	12.7 + (12.7*0.02)	12.95
(C) ความยาว (mm.)	60.30	0.02	60.3 + (60.3*0.02)	61.50
(A) ความกว้างหลังรอยบาก (mm.)	10.16	0.02	10.16 + (10.16*0.02)	10.36
(D) องศารูปตัว V	45°	0.02	45° + (45°*0.02)	46°
(B) ระยะจากปลายรอยบากถึงความยาวของชิ้นงาน (mm.)	30.14	0.02	30.14 + (30.14*0.02)	30.75
(F) ความหนา (mm.)	3.20	0.02	3.2+(3.2*0.02)	3.26

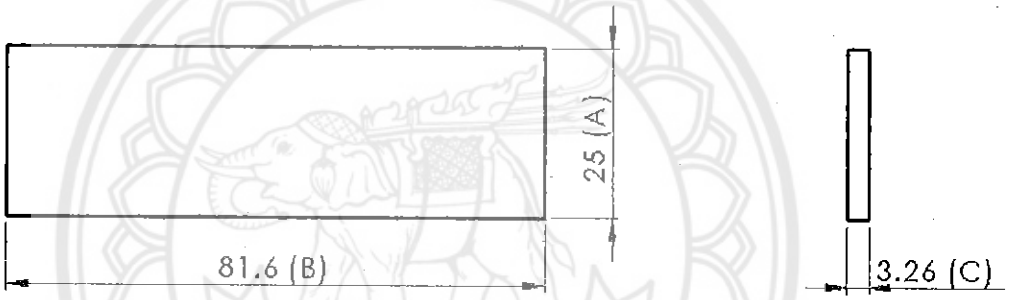


รูปที่ 4.1 แบบของชิ้นงานที่ได้จากการการคำนวณค่าเผื่อของ ASTM D256 หน่วยเป็น (m

รูปที่ 4.1 แบบของชิ้นงานที่ได้จากการการคำนวณค่าเผื่อของ ASTM D256 หน่วยเป็น (m

ตารางที่ 4.2 การคำนวณขนาดของ ASTM D790

การวัดขนาด	ขนาดของแบบตามรูปชิ้นงาน	เปอร์เซ็นต์การหดตัว 2 %	คำนวณ	ขนาดของอิมเพรสชั่น
(A) ความกว้าง (mm.)	25.00	0.02	25+(25*0.02)	25.50
(B) ความยาว (mm.)	80.00	0.02	80+(80*0.02)	81.60
(C) ความหนา (mm.)	3.20	0.02	3.2+(3.2*0.02)	3.26



รูปที่ 4.2 แบบของชิ้นงานที่ได้จากการคำนวณค่าเผื่อของ ASTM D790 หน่วยเป็น (mm.)

4.3 การศึกษาการใช้โปรแกรม SolidWorks 2007

การออกแบบแม่พิมพ์โดยเลือกใช้โปรแกรม SolidWork 2007 นั้นเป็นโปรแกรมที่สามารถออกแบบในรูป 3 มิติ เหมือนจริง และสามารถสร้างรูป 2 มิติ บอกรายละเอียดให้โดยอัตโนมัติ และมีความเชี่ยวชาญในการใช้โปรแกรมนี้เป็นอย่างดี รวมทั้งโปรแกรมนี้เป็นที่แพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม อีกทั้งยังมีตัวเลือกและฟังก์ชันต่างๆ มากมาย ดังนั้งจึงได้เลือกใช้โปรแกรม SolidWork 2007 ในการเขียนชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์

4.3.1 เหตุผลที่เลือกใช้ SolidWoks

4.3.1.1 งานออกแบบเป็นเรื่องที่เข้าใจได้ง่ายเพราะแสดงภาพเป็นแบบ 3 มิติ เหมือนจริง

4.3.1.2 งานออกแบบมีความผิดพลาดน้อยลงเพราะสามารถเห็นภาพจริงก่อนผลิตการจริง รวมทั้งสามารถทดสอบการทำงานทางกายภาพได้บนจอคอมพิวเตอร์ สามารถทราบน้ำหนักปริมาตร รวมถึงความเป็นไปได้ในเชิงวิศวกรรมได้ทันที

4.3.1.3 การทำ Detail Drawing เป็นเรื่องง่ายที่สุดเพราะ SolidWorks (Software 3D) สามารถสร้าง 2D Detail Drawing ให้โดยอัตโนมัติ โดยไม่เกิด Human error อย่างเด็ดขาด

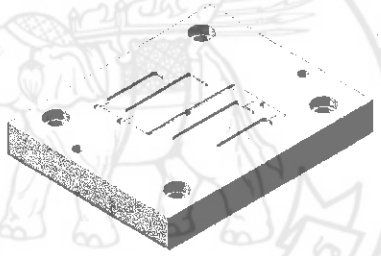
4.3.1.4 เป็นเรื่องพื้นฐานในการนำชิ้นงานไปใช้ใน Application ต่อเนื่อง เช่น Mold design, Cam Design ตลอดจนสร้าง tool path ในการบังคับเครื่อง CNC ทำการกัดงานจริงออกมา

4.3.1.5 สิ่งที่ดีที่สุดของ SolidWorks คือ เมื่อต้องการแก้ไขงานไม่ว่าขั้นตอนใดๆ สามารถตามไปแก้ไข Drawing ทุกๆแผ่น โดยอัตโนมัติ และถูกต้อง

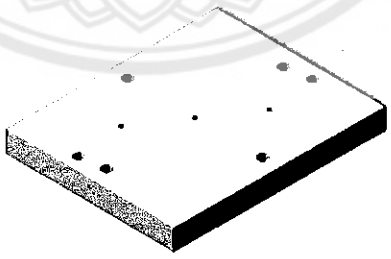
4.3.1.6 SolidWorks (3D) ทำให้งานออกแบบเร็วขึ้นกว่าการใช้ 2D มากกว่า 50% พร้อมทั้งคุณภาพดีกว่าอีกด้วย

4.3.1.7 เป็นโปรแกรมที่หาใช้ได้ง่าย เป็นที่นิยมในงานออกแบบ

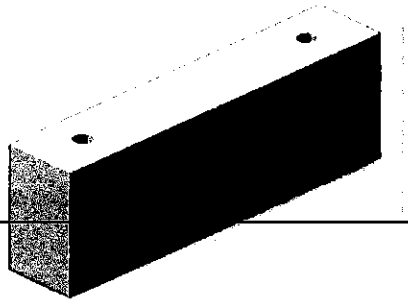
4.3.2 การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ โดยใช้ SolidWoks



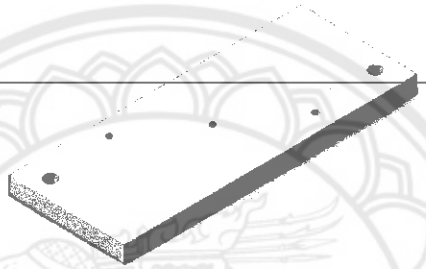
รูปที่ 4.3 แผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่



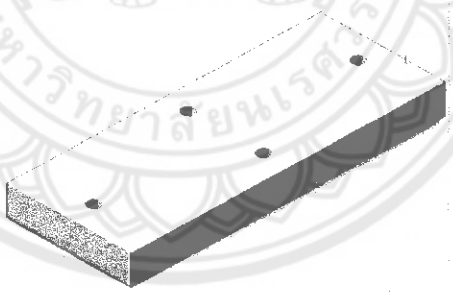
รูปที่ 4.4 แผ่นรองด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่



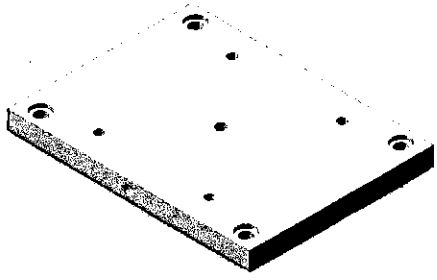
รูปที่ 4.5 แท่นรองแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่ มี 2 ชิ้น ซ้าย ขวา



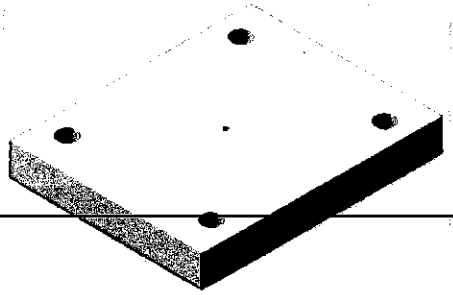
รูปที่ 4.6 แผ่นดันปลดชิ้นงาน



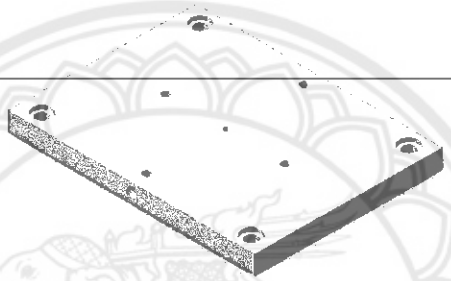
รูปที่ 4.7 แผ่นยึดแผ่นดันปลดชิ้นงาน



รูปที่ 4.8 แผ่นยึดด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่



รูปที่ 4.9 แผ่นประกบเบ้าด้านอยู่กับที่



รูปที่ 4.10 แผ่นยึดเบ้าด้านอยู่กับที่

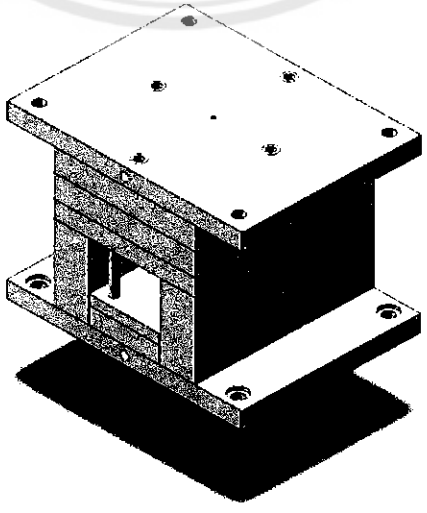
รูปที่ 4.11 เพลานำ

รูปที่ 4.12 สลักดันกลับ

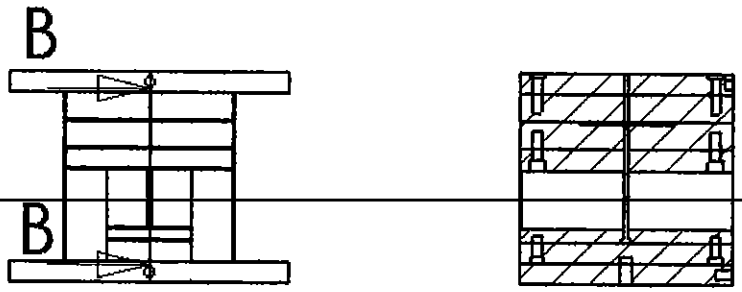
รูปที่ 4.13 สลักปลดชิ้นงาน

รูปที่ 4.14 สลักดึงชิ้นงานจากแกนรูฉีด

จากชิ้นส่วนประกอบต่างๆ เมื่อนำมาประกอบเข้าด้วยกันโดยมีน็อตขนาดต่างๆ มาสวมประกอบเข้าด้วยกัน จะได้แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่เสร็จสมบูรณ์ ดังรูปที่ 4.15 และภาพตัดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.15 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่เสร็จสมบูรณ์

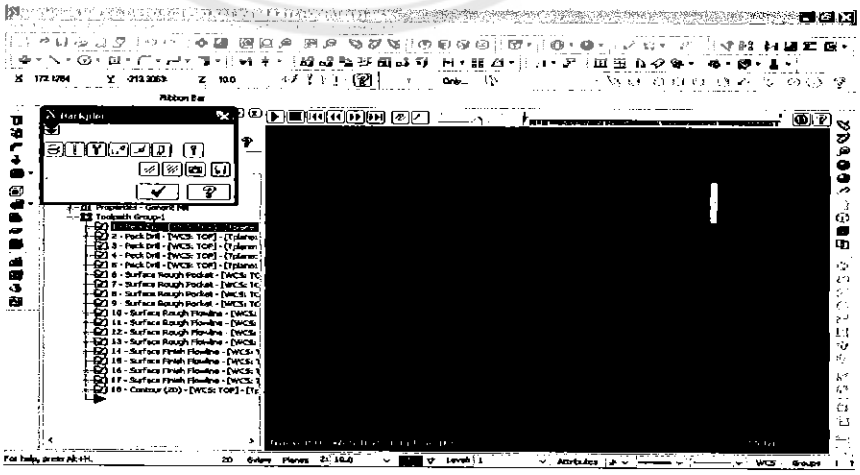


SECTION B-B

รูปที่ 4.16 ภาพตัดแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

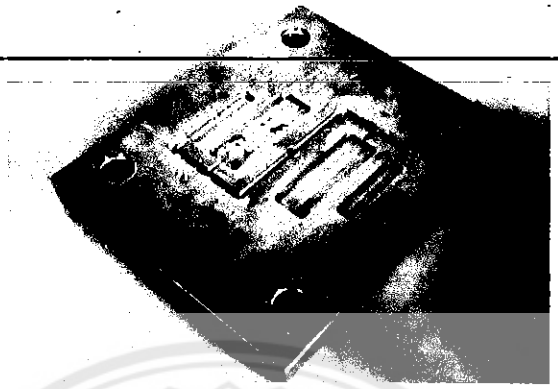
4.4 ศึกษาการใช้โปรแกรม Mastercam X4

Mastercam X4 เป็นโปรแกรมช่วยในการสร้าง Toolpath ทางเดินมีดกัด และสามารถ Simulate จำลองการเคลื่อนที่หาข้อบกพร่อง เพื่อปรับเปลี่ยนค่า Parameter ให้มีความแม่นยำในการกัดงานได้ดีและ Generate Code (NC - Code) ให้มีความแม่นยำในการกัดชิ้นงาน โดยปกติแล้ว SolidWork จะSave File เป็นนามสกุล (*.prt;*.sldprt) จึงทำการ Save File เป็นนามสกุล (.*step) SolidWorks เพื่อนำไปใช้กับโปรแกรม Mastercam และสร้าง Toolpath เพื่อ Generate Code (NC- Code) ดังรูปที่ 4.17 ใช้กับเครื่องกัดซีเอ็นซี ใช้กัดชิ้นงานให้เป็นรูปแบบที่ต้องการ สามารถรองรับไฟล์ CAD ได้ถึง 24 นามสกุล ไม่ว่าจะเป็นไฟล์โดยตรง เช่น AutoCAD, Solidwork, Inventor และอื่นๆ



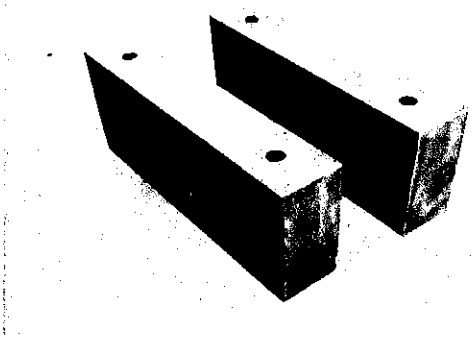
รูปที่ 4.17 การใช้ CAM ในการสร้าง (NC- Code) 4.5 เครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์

4.5 ชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์

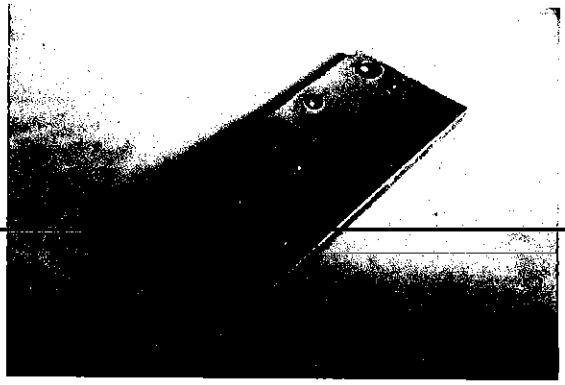


รูปที่ 4.18 แผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่

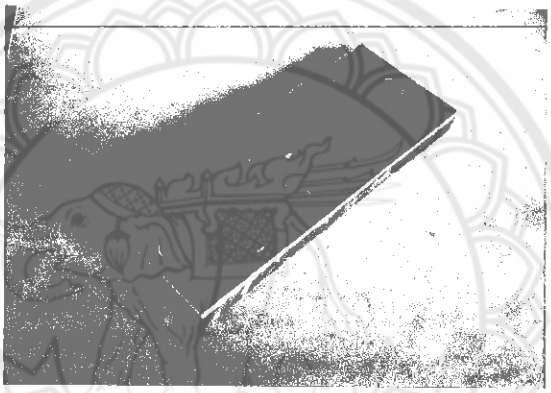
รูปที่ 4.19 แผ่นรองด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่



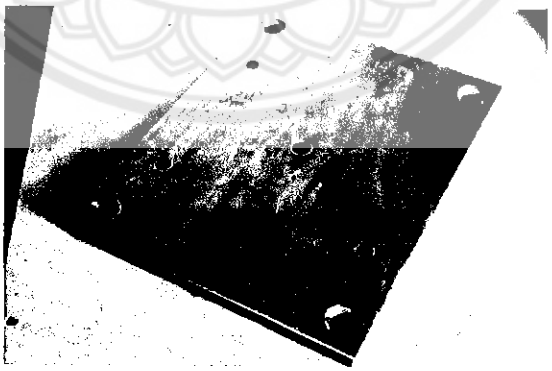
รูปที่ 4.20 แท่นรองแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่มี 2 ชิ้น ซ้าย ขวา



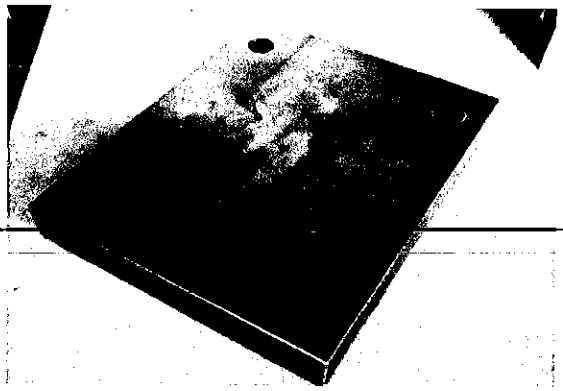
รูปที่ 4.21 แผ่นดันปลดชิ้นงาน



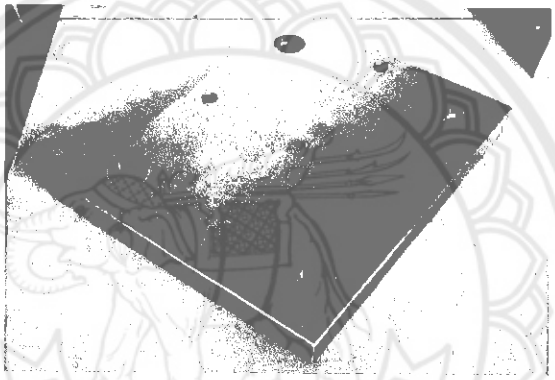
รูปที่ 4.22 แผ่นยึดตัวดันปลดชิ้นงาน



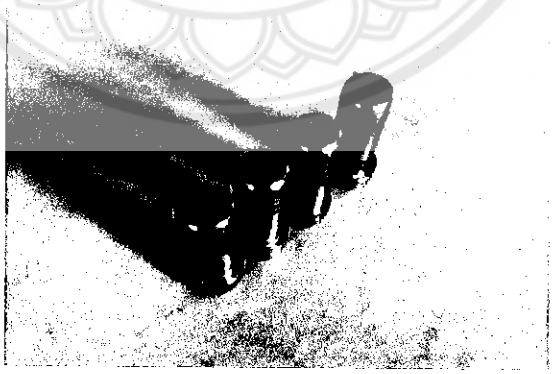
รูปที่ 4.23 แผ่นยึดด้านหลังของแผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่



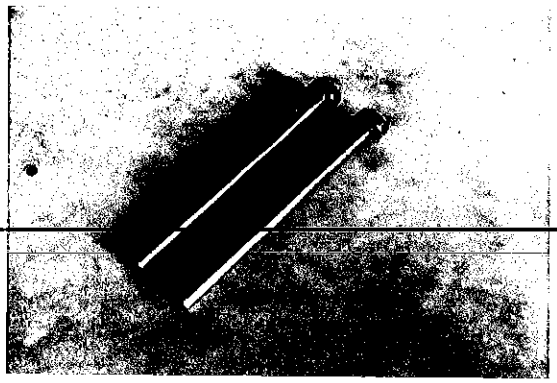
รูปที่ 4.24 แผ่นประกบเบ้าด้านอยู่กับที่



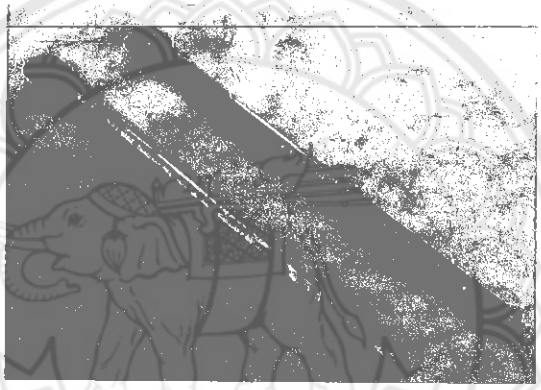
รูปที่ 4.25 แผ่นยึดเบ้าด้านอยู่กับที่



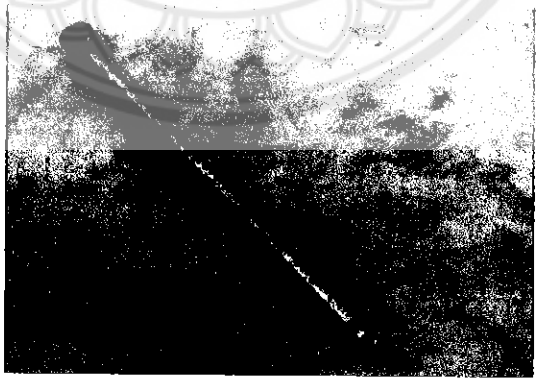
รูปที่ 4.26 เพลานำ



รูปที่ 4.27 สลักดันกลับ



รูปที่ 4.28 สลักปลดชิ้นงาน



รูปที่ 4.29 สลักดึงชิ้นงานจากแกนรูฉีด

นำชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์นำมาประกอบเข้าด้วยกันจะได้แม่พิมพ์สำเร็จรูป

รูปที่ 4.30 แม่พิมพ์ประกอบเสร็จ

4.6 ศึกษาเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น BOY 50R

หลังจากที่ได้ประกอบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเสร็จสมบูรณ์แล้ว แต่เนื่องจากเครื่องฉีดพลาสติก BOY 50M ในปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร ไม่สามารถใช้การได้ จึงได้นำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ติดตั้งที่เครื่องฉีดพลาสติกรุ่น BOY 50R ณ อาคารปฏิบัติงาน สาขาวิศวกรรมแม่พิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาคพายัพ เชียงใหม่

รูปที่ 4.31 เครื่องฉีดพลาสติกรุ่น BOY 50R

รูปที่ 4.32 ติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องฉีดพลาสติก BOY 50R

ขั้นตอนการฉีดพลาสติกและปรับค่าตัวแปรที่ใช้งาน

การฉีดโดยใช้เม็ดพลาสติกชนิด พอลิโพรพีลีน (PP) ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน

4.6.1.1 อุณหภูมิชุดหัวฉีดที่ใช้จะตั้งอยู่ที่ ตัวที่ 1 คือ 40 องศา กราฟตัวที่ 2 คือ 220 องศา กราฟตัวที่ 3 คือ 220 องศา กราฟตัวที่ 4 คือ 240 องศา

4.6.1.2 ระยะชักของแม่พิมพ์จะตั้งอยู่ที่ 260 มิลลิเมตร

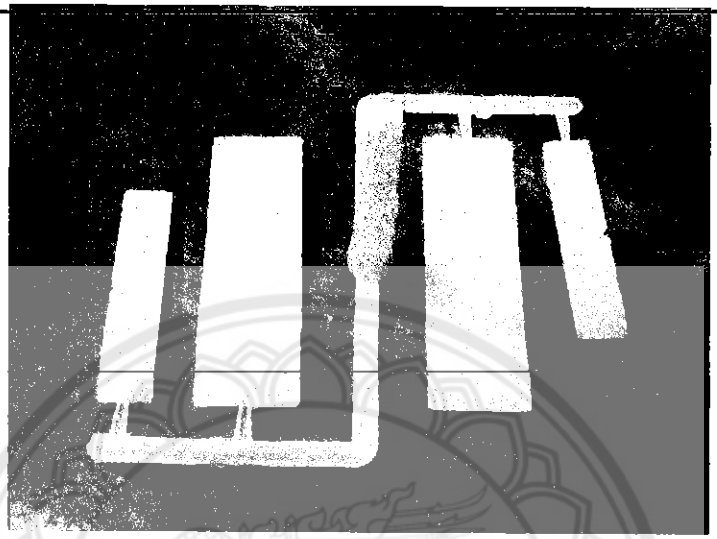
4.6.1.3 ความดันในการฉีดจะตั้งอยู่ที่ 30 bar

4.6.1.4 รอบของการฉีดจะอยู่ที่ 40 rpm

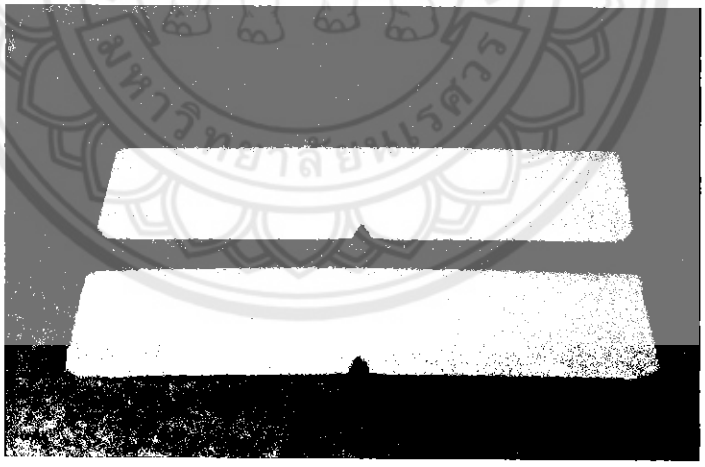
4.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการศึกษามาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D790 เป็นชิ้นงานไว้สำหรับทดสอบแรงกระแทก และ ทดสอบความดัดโค้งงอตามลำดับ จึงได้ศึกษาแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกและเลือกเหล็กที่นำมาใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ โดยใช้โปรแกรม SolidWork 2007 ในการออกแบบชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ของแม่พิพม์ และใช้โปรแกรม Mastercam X4 ในการจำลองการกัด และการใช้เครื่องจักรกลซีเอ็นซีในการกัดชิ้นงาน เครื่อง Wire Cute เครื่อง EDM และเครื่องมือต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการผลิตแม่พิมพ์ และใช้เครื่องฉีดพลาสติกในการฉีดพลาสติก

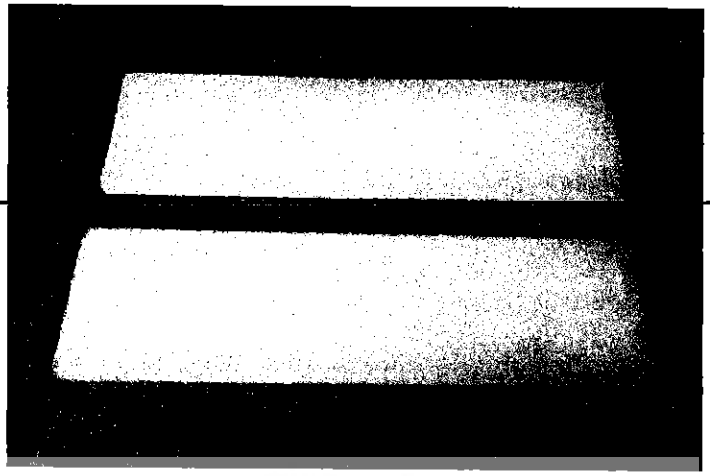
ชิ้นงานตรงตามมาตรฐาน ตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกใช้งานได้จริง และเมื่อฉีดออกมาเป็นรูปชิ้นงานสำหรับทดสอบที่ได้ขนาด



รูปที่ 4.33 ชิ้นงานที่ได้จากการฉีด

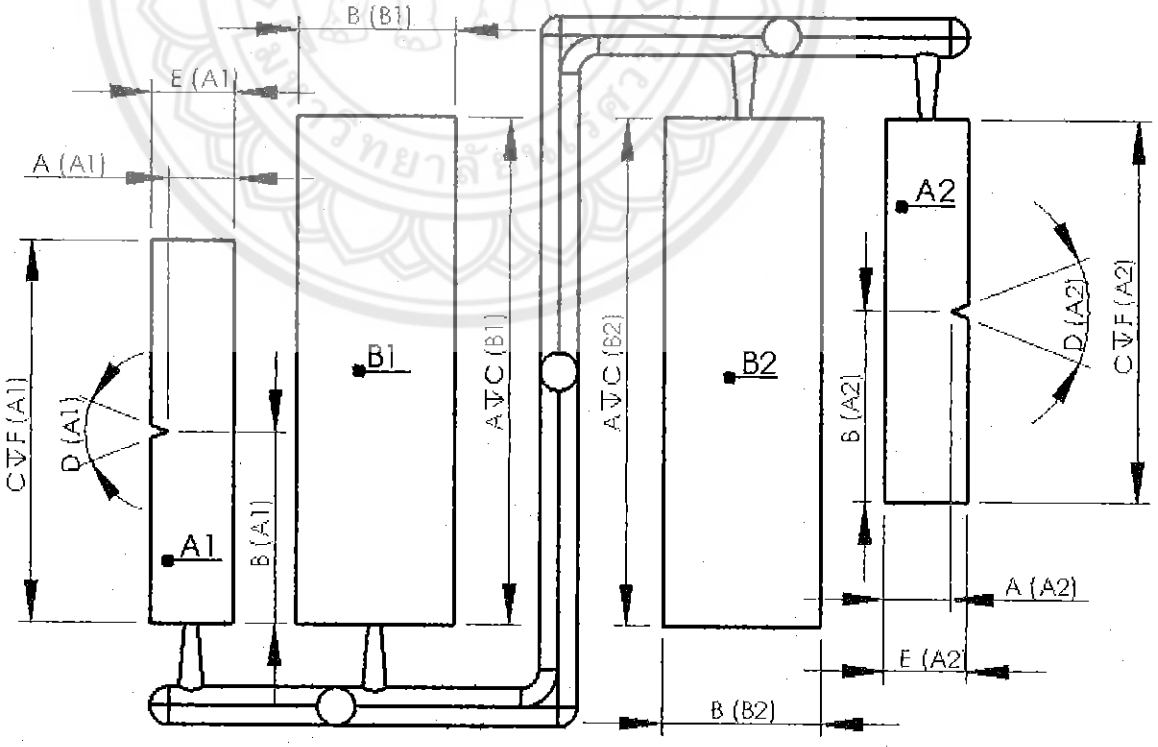


รูปที่ 4.34 ชิ้นงานมาตฐาน ASTM D256



รูปที่ 4.35 ชิ้นงานมาตฐาน ASTM D790

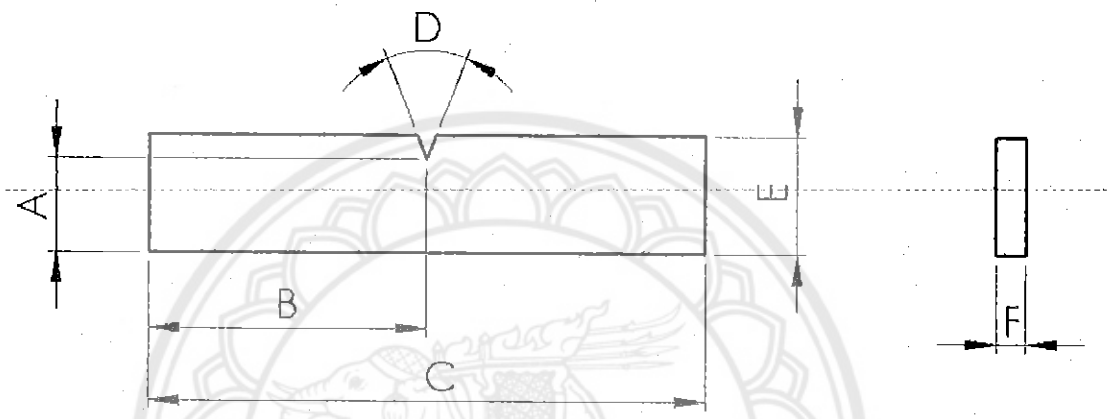
อิมเพรสชั่นทั้ง 4 เบ้า ได้ทำสัญลักษณ์เพื่อแสดงตำแหน่งของเบ้าเพรสชั่นสำหรับตรวจสอบ ดังนี้



รูปที่ 4.36 ตำแหน่งของเบ้าอิมเพรสชั่น

การตรวจสอบขนาดอิมเพรสชั่นและชิ้นงานของ ASTM D256 สำหรับการทดสอบ(ASTM D256 Izod Type Test Specimen) เพื่อทดสอบหาสมบัติแรงดัดงอ

ในส่วนของเบ้าอิมเพรสชั่นและชิ้นงานทั้งเบ้าที่ A1 และเบ้าที่ A2 จึงได้ทำการวัดขนาดของเบ้าอิมเพรสชั่น ตามจุดต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 4.37 การชิ้นงานมาตรฐาน ASTM D256

โดยกำหนดให้ A = ระยะจากปลายรอยบากถึงความกว้างของชิ้นงาน

B = ระยะจากปลายรอยบากถึงความยาวของชิ้นงาน

C = ความยาวของชิ้นงาน

D = องศาของรอยบาก

E = ความกว้างของชิ้นงาน

F = ความลึก

ตารางที่ 4.3 การตรวจสอบขนาดอิมเพรสชั่นเทียบกับแบบแม่พิมพ์ ASTM D256

สัญลักษณ์	ขนาดชิ้นงานมาตรฐาน	ขนาดเบ้าที่คำนวณค่าเผื่อ	ขนาดเบ้าจริงเบ้าที่ A1	ค่าความผิดพลาดเบ้าที่ A1	ขนาดเบ้าจริงเบ้าที่ A2	ค่าความผิดพลาดเบ้าที่ A2
A	10.16±0.05 (mm.)	10.36 (mm.)	10.41 (mm.)	0.48%	10.52 (mm.)	1.54%
B	31.50-32.0 (mm.)	31.75 (mm.)	30.72 (mm.)	-0.10%	30.73 (mm.)	-0.10%
C	60.30-63.50 (mm.)	61.5 (mm.)	61.23 (mm.)	-0.44%	61.25 (mm.)	-0.41%
D	45°±0.5°	46°	45°	0%	45°	0%
E	12.70±0.15 (mm.)	12.95 (mm.)	12.95 (mm.)	0%	12.96 (mm.)	0.07%
F	3.0–12.7 (mm.)	3.26 (mm.)	3.25 (mm.)	-0.10%	3.25 (mm.)	-0.10%

เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบขนาดของอิมเพรสชั่น คือ เวอร์เนียร์ดิจิตอล ความละเอียด 0.01 mm. และ โปรแทรกเตอร์วัดมุม 360 องศา

จากการตรวจสอบขนาดอิมเพรสชั่น ASTM D256 ผลปรากฏว่า อิมเพรสชั่นเบ้าที่ A1 และเบ้าที่ A2 มีขนาดของ ความคาดเคลื่อนน้อยมากและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.4 การตรวจสอบขนาดชิ้นงานเทียบกับขนาดมาตรฐาน ASTM D256

สัญลักษณ์	ขนาดชิ้นงานมาตรฐาน	ชิ้นงานที่ได้จากเบ้าที่ A1 จำนวน 30 ชิ้น	ค่าความผิดพลาดของชิ้นงานจากเบ้าที่ A1	ชิ้นงานที่ได้จากเบ้าที่ A2 จำนวน 30 ชิ้น	ค่าความผิดพลาดของชิ้นงานจากเบ้าที่ A2
A	10.16±0.05 (mm.)	10.15 (mm.)	-0.10%	10.17 (mm.)	0.10%
B	31.50-32.0 (mm.)	29.74 (mm.)	-6.33%	29.73 (mm.)	-6.36%
C	60.30-63.50 (mm.)	59.46 (mm.)	-3.12%	59.47 (mm.)	-3.30%
D	45°±0.5°	45°	0%	45°	0%
E	12.70±0.15 (mm.)	12.65 (mm.)	-0.39%	12.65 (mm.)	-0.39%
F	3.0–12.7 (mm.)	3.24 (mm.)	0.61%	3.23 (mm.)	0.61%

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดขนาดแม่พิมพ์ เวอร์เนียร์ดิจิตอล ความละเอียด 0.01 mm.

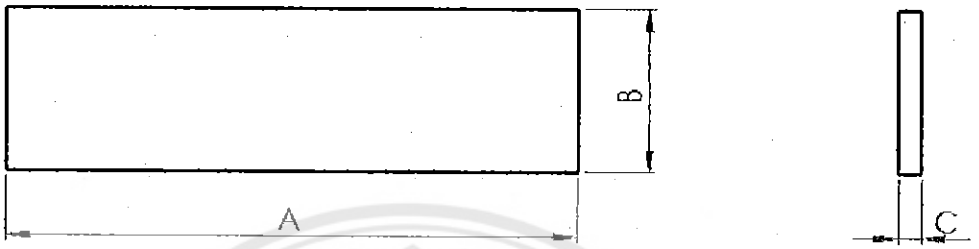
จากการตรวจสอบชิ้นงาน ASTM D256 พบว่า ชิ้นงานที่ได้จากเบ้าที่ A1 และเบ้าที่ A2 นั้น ระยะ B = ระยะจากปลายรอยบากถึงความยาวของชิ้นงานสั้นกว่าชิ้นงานมาตรฐานซึ่งมีค่าความคาดเคลื่อนอยู่ที่ -6.33% และ -6.36% ตามลำดับ และ C = ความยาวของชิ้นงาน มีค่าที่สั้นกว่าชิ้นงานตามมาตรฐาน ซึ่งมีค่าความคาดเคลื่อนอยู่ที่ -3.12% และ -3.30% ตามลำดับ จึงวิเคราะห์หา ค่าความยาว B และ C ที่สั้นกว่าความยาวมาตรฐานนั้น เนื่องจากได้คำนวณขนาดของความยาวของช่วงที่น้อยที่สุด (Minimum) โดยไม่ได้คำนวณค่าระหว่างกึ่งกลาง (Mean) จึงทำให้ค่าที่คำนวณค่าเผื่อน้อยเกินไปในขั้นตอนการออกแบบ

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานเทียบกับขนาดเบ้าของอิมเพรสชั่นสำเร็จ

สัญลักษณ์	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานจากเบ้าที่ A1	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานจากเบ้าที่ A2
A	2.5%	3.3%
B	3.2%	3.3%
C	2.9%	2.9%
D	0%	0%
E	2.3%	2.4%
F	0.31%	0.62%

4.8.1.2 การตรวจสอบขนาดอิมเพรสชั่นและชิ้นงานของ ASTM D790 สำหรับการทดสอบ (ASTM D790 for various Support Span-to-Depth Ratios Test Method I 3-point Loading) เพื่อทดสอบหาสมบัติในการรับแรงกระแทก

ในส่วนของเบ้าอิมเพรสชั่นและชิ้นงานทั้งเบ้าที่ B1 และ B2 จึงได้ทำการวัดขนาดของเบ้าอิมเพรสชั่นตามจุดต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 4.38 การชิ้นงานมาตรฐาน ASTM D790

โดยกำหนดให้ A = ความกว้าง
B = ความยาว
C = ความลึก

ตารางที่ 4.6 การตรวจสอบขนาดอิมเพรสชั่นเทียบกับแบบแม่พิมพ์ ASTM D790

สัญลักษณ์	ขนาดชิ้นงานมาตรฐาน	ขนาดเบ้าที่คำนวณค่าเผื่อ	ขนาดเบ้าจริงเบ้าที่ B1	ค่าความผิดพลาดของเบ้าที่ B1	ขนาดเบ้าจริงเบ้าที่ B2	ค่าความผิดพลาดของเบ้าที่ B2
A	25 (mm.)	25.5 (mm.)	25.58 (mm.)	0.31%	25.85 (mm.)	1.37%
B	80 (mm.)	81.6 (mm.)	81.8 (mm.)	0.25%	81.57 (mm.)	-0.04%
C	3.2 (mm.)	3.26 (mm.)	3.25 (mm.)	-0.31%	3.24 (mm.)	-0.61%

เครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบขนาดของอิมเพรสชั่น คือเวอร์เนียร์ดิจิตอล ความละเอียด 0.01 mm.

จากการตรวจสอบขนาดอิมเพรสชั่น ASTM D790 ผลปรากฏว่า อิมเพรสชั่นเบ้าที่ B1 และเบ้าที่ B2 มีขนาดของ ความคาดเคลื่อนน้อยมากและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4.7 การตรวจสอบขนาดชิ้นงานเทียบกับขนาดมาตรฐาน ASTM D790

สัญลักษณ์	ขนาดชิ้นงานมาตรฐาน	ชิ้นงานที่ได้จากเบ้าที่ B1 เฉลี่ย 30 ชิ้น	ค่าความผิดพลาดของชิ้นงานจากเบ้าที่ B1	ชิ้นงานที่ได้จากเบ้าที่ B2 เฉลี่ย 30 ชิ้น	ค่าความผิดพลาดของชิ้นงานจากเบ้าที่ B2
A	25 (mm.)	24.97 (mm.)	-0.12%	25.02 (mm.)	1.18%
B	80 (mm.)	79.68 (mm.)	-0.40%	79.65 (mm.)	-0.44%
C	3.2 (mm.)	3.24 (mm.)	1.25%	3.23 (mm.)	0.94%

จากการตรวจสอบชิ้นงาน ASTM D790 ผลปรากฏว่า ชิ้นงานที่ได้จากเบ้าที่ B1 และเบ้าที่ B2 ชิ้นงานมีขนาดของความคาดเคลื่อนน้อยมากและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และเป็นชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D790

ตารางที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานเทียบกับขนาดเบ้าอิมเพรสชั่นสำเร็จ

สัญลักษณ์	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานจากเบ้าที่ B1	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของชิ้นงานจากเบ้าที่ B2
A	2.4%	3.2%
B	2.6%	2.4%
C	0.3%	0.3%

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลสรุป

5.1.1 หลังจากที่ได้ทำการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ตามมาตรฐาน ASTM D256 และ ASTM D 790 และทำการกัดจริงนั้น ขนาดของเบ้าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกที่ได้ออกแบบไว้ กับขนาดของเบ้าแม่พิมพ์ฉีดจริง มีขนาดใกล้เคียงกัน มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นน้อยมาก

5.1.2 เมื่อทำการนำแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ขึ้นทดลองฉีดจริงโดยใช้เม็ดพลาสติก โพลิโพรพิลีน (PP) จากการตรวจสอบชิ้นงาน ASTM D256 พบว่า ชิ้นงานที่ได้จากเบ้าที่ A1 และเบ้าที่ A2 นั้น ระยะ B = ระยะจากปลายรอยบากถึงความยาวของชิ้นงานสั้นกว่าชิ้นงานมาตรฐานซึ่งมีค่าความคาดเคลื่อนอยู่ที่ -6.33% และ -6.36% ตามลำดับ และ C = ความยาวของชิ้นงาน มีค่าที่สั้นกว่าชิ้นงานตามมาตรฐาน ซึ่งมีค่าความคาดเคลื่อนอยู่ที่ -3.12% และ -3.30% ตามลำดับ จากการที่ได้วิเคราะห์ว่า ค่าความยาว B และ C ที่สั้นกว่าความยาวมาตรฐานนั้น เนื่องจากขั้นตอนการคำนวณค่าเผื่อของแบบแม่พิมพ์ ได้ใช้ค่าที่น้อยที่สุดในช่วงของระยะความยาว C ที่ขนาด 60.30(mm.) ในการคำนวณ ไม่ได้ใช้ค่ากึ่งกลางของระยะความยาว C (60.3-63.5) คือ 62(mm.) ในการคำนวณ ทำให้เกิดความผิดพลาดของขนาดชิ้นงานที่ได้ จากการตรวจสอบชิ้นงาน ASTM D790 พบว่า ชิ้นงานที่ได้จากเบ้าที่ B1 และเบ้าที่ B2 ชิ้นงานมีขนาดของความคาดเคลื่อนน้อยมากและอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และเป็นชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D790

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.2.1 การออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก ควรมีการคำนวณ ทางวิ่งของน้ำพลาสติก (Runner) และทางเข้าของน้ำพลาสติก (Gate) ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบ เพื่อทำให้แม่นยำในการฉีดและให้ได้ผลการทดลองตรงตามเป้าหมาย

5.2.2 การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ควรคำนึงถึงค่าการหดตัวของพลาสติกเป็นอันดับต้นๆ ของการออกแบบ

5.2.3 การคำนวณของการออกแบบควรจะกำหนดเปอร์เซ็นต์การหดตัวของพลาสติกชนิด โพลิโพรพิลีน (PP) ให้มากกว่า 2% เพื่อที่จะให้ได้ขนาดของอิมเพรสชั่น และขนาดของชิ้นงานออกมาได้ใกล้เคียงกับขนาดของจริง

5.2.4 การผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก อาคารปฏิบัติงานภาคอุตสาหการ ยังขาดเครื่องมือเครื่องจักรกลที่ต้องใช้ผลิตแม่พิมพ์ เช่นเครื่อง Wire Cut , EDM , CNC เป็นต้น จึงควรมีเครื่องมือเครื่องจักรที่จะทำให้ช่วยในการผลิตแม่พิมพ์ง่ายขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ชาลี ตระการกูล. (2536) **การออกแบบแม่พิมพ์ฉีด.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : บริษัท ประชาชน, Global supply industrial Ltd.,Part สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม 2553

บริษัทชนะพานิชสตีลจำกัด. เหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติก (Plastic Mould Steel). (ตารางมาตรฐานเหล็ก) สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม 2553, จาก http://www.chanasteel.com/spec/plastic.php.

บริษัท ทิสเซ่นครุปแมททีเรี่ยลส์ (ไทยแลนด์) จำกัด. ตารางเปรียบเทียบเกรดเหล็ก. สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม 2553, จาก http://www.thyssenkruppmaterials.co.th/content/view/28/40/.

ผศ.ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ. **วัสดุวิศวกรรม Engineering Materials.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2549.

รศ.บรรเลง ศรนิล. **เทคโนโลยีพลาสติก.** พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ :ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2546.

รศ.แม้น อมรสิทธิ์, รศ.ดร. สมชัย อัครทิวา, อ.ธรรมนูญ อุดมมั่น. **วัสดุวิศวกรรม Foundations of** MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 4/e กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ศุภฤกษ์ หาญจริง, อนันต์ หนูเป้า **การออกแบบและวางแผนผลิตแม่พิมพ์ฉีดหวีพลาสติก** ปริญญา นิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต,สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล,คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร 2546.

อำนาจ ทองแสน. **ทฤษฎีและการเขียนโปรแกรม CNC สำหรับการควบคุมเครื่องจักรด้วยคอมพิวเตอร์.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น,2544.

ADMET Universal Testing System. o to Perfor an ASTM D790 Plastic Flexural 3 Point Bend Test. สืบค้นเมื่อ 6 สิงหาคม 2553, จาก http://info.admet.com/specifications/bid/42936/How-to- Perform-an-ASTM-D790-Plastic-Flexural-3-Point-Bend-Test

ASTM D256. 1996 **Standard Test Met ods For Impact Resistance of Plastics and Electrial Insulating Materials** . Philadephia : American Society For Testing and Materials.

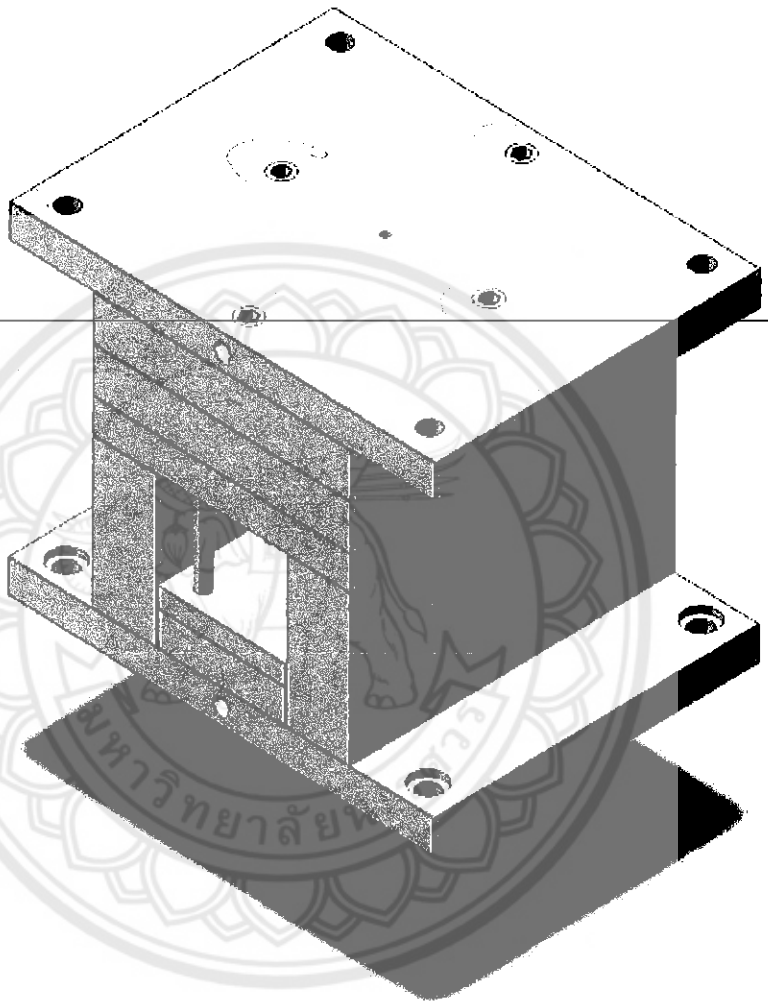
ASTM D790. 1996 **Standard Test Met ods For Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials** . Philadephia : American Society For Testing and Materials.

ภาคผนวก ก

แบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก หน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

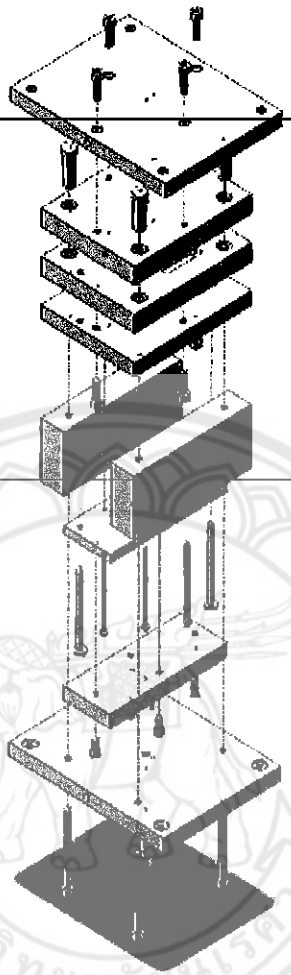
แบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก หน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

1. Drawing Assembly



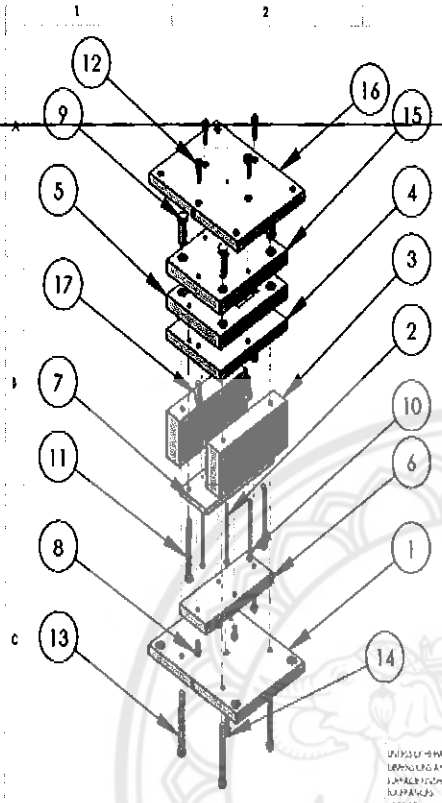
รูปที่ ก.1 Drawing Assembly

2. แยกชิ้นส่วนแม่พิมพ์



รูปที่ ก.2 แยกชิ้นส่วนแม่พิมพ์

3. รายละเอียดของชิ้นส่วน

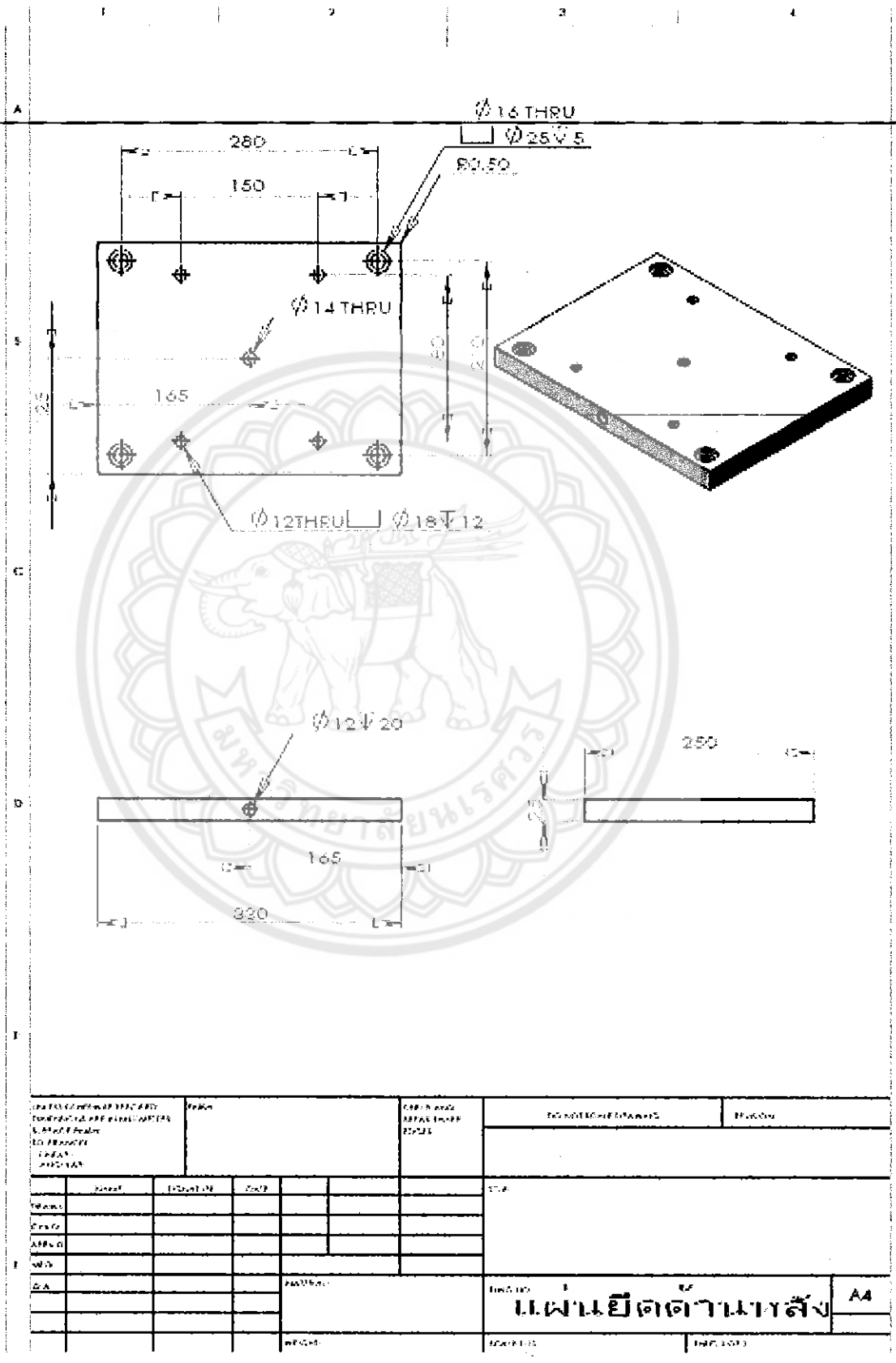


Part No.	Part Name	Size(mm)	Quantity	Standard
1.	แผ่นปิดด้านหลัง	250X330X25	1 แผ่น	JIS.B5106
2.	สลักดึงแกนรูด	Ø6, L140	1 ตัว	
3.	แท่นรอง	110X250X50	2 แผ่น	
4.	แผ่นรองหลัง	200X250X25	1 แผ่น	JIS.B5106
5.	แผ่นเบ้	200X250X35	1 แผ่น	JIS.B5106
6.	แผ่นดันปลด	100X250X25	1 แผ่น	
7.	แผ่นปิดตัวปลด	100X250X15	1 แผ่น	
8.	น็อตยึดแผ่นดันปลด	M10x1.5, L35	4 ตัว	
9.	เพลาน่า	Ø20, L65	4 ตัว	
10.	สลักปลด	Ø6, L140	2 ตัว	
11.	สลักดันกลับ	Ø6, L143	2 ตัว	
12.	น็อตยึดแผ่นประกบ	M12x1.5, L47	4 ตัว	
13.	น็อตยึดแท่นรอง	M12x1.5, L147	4 ตัว	
14.	น็อตปรับตั้ง	M14x1.5, 97	1ตัว	
15.	แผ่นประกบเบ้า	200X250X35	1 แผ่น	JIS.B5106
16.	แผ่นปิดด้านหน้า	250X330X25	1 แผ่น	JIS.B5106
17.	น็อตยึดแผ่นเบ้า	M12x1.5, L47	4 ตัว	

Assem99 A4

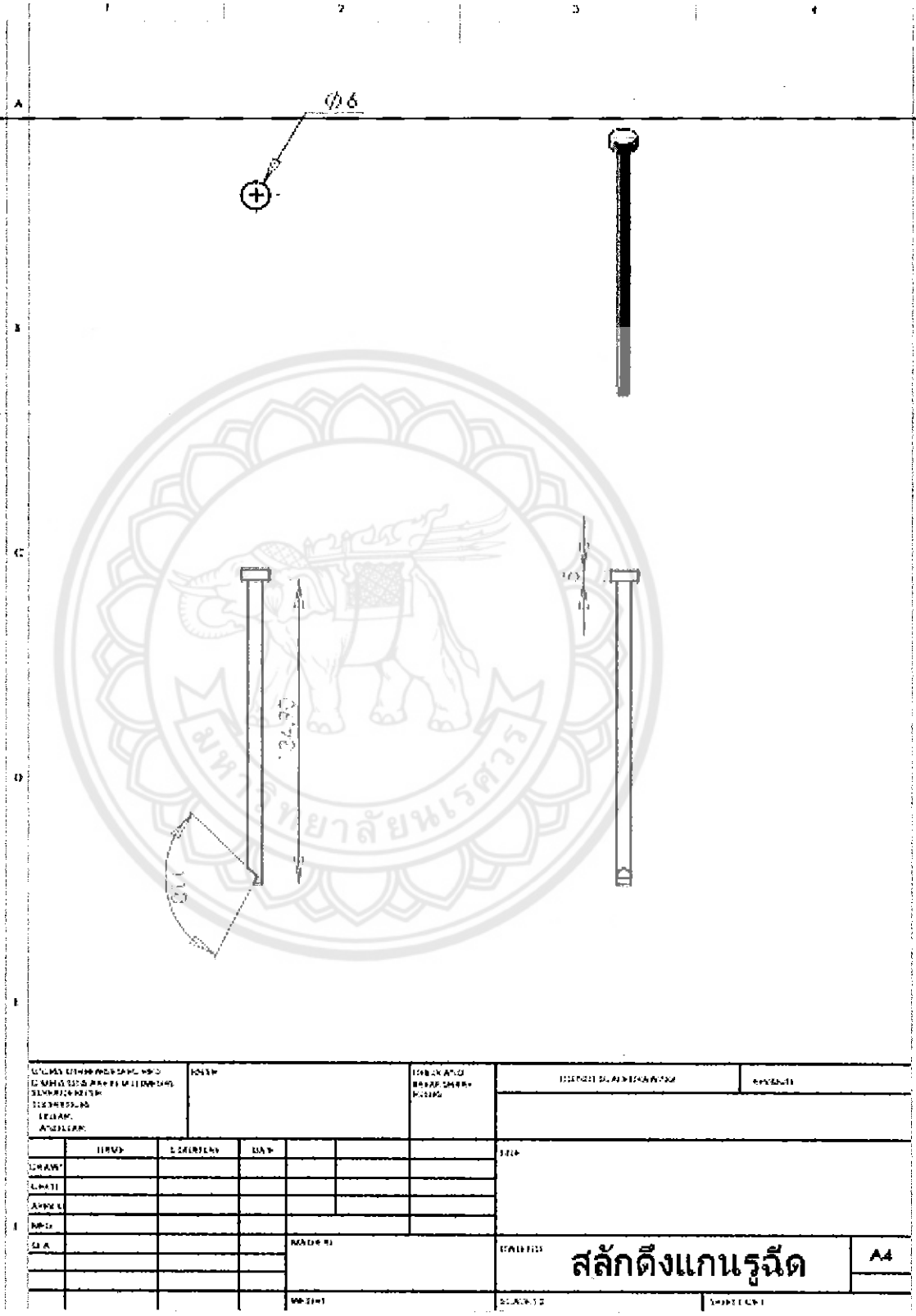
รูปที่ ก.3 รายละเอียดของชิ้นส่วน

3.1 แผ่นยึดด้านหลัง



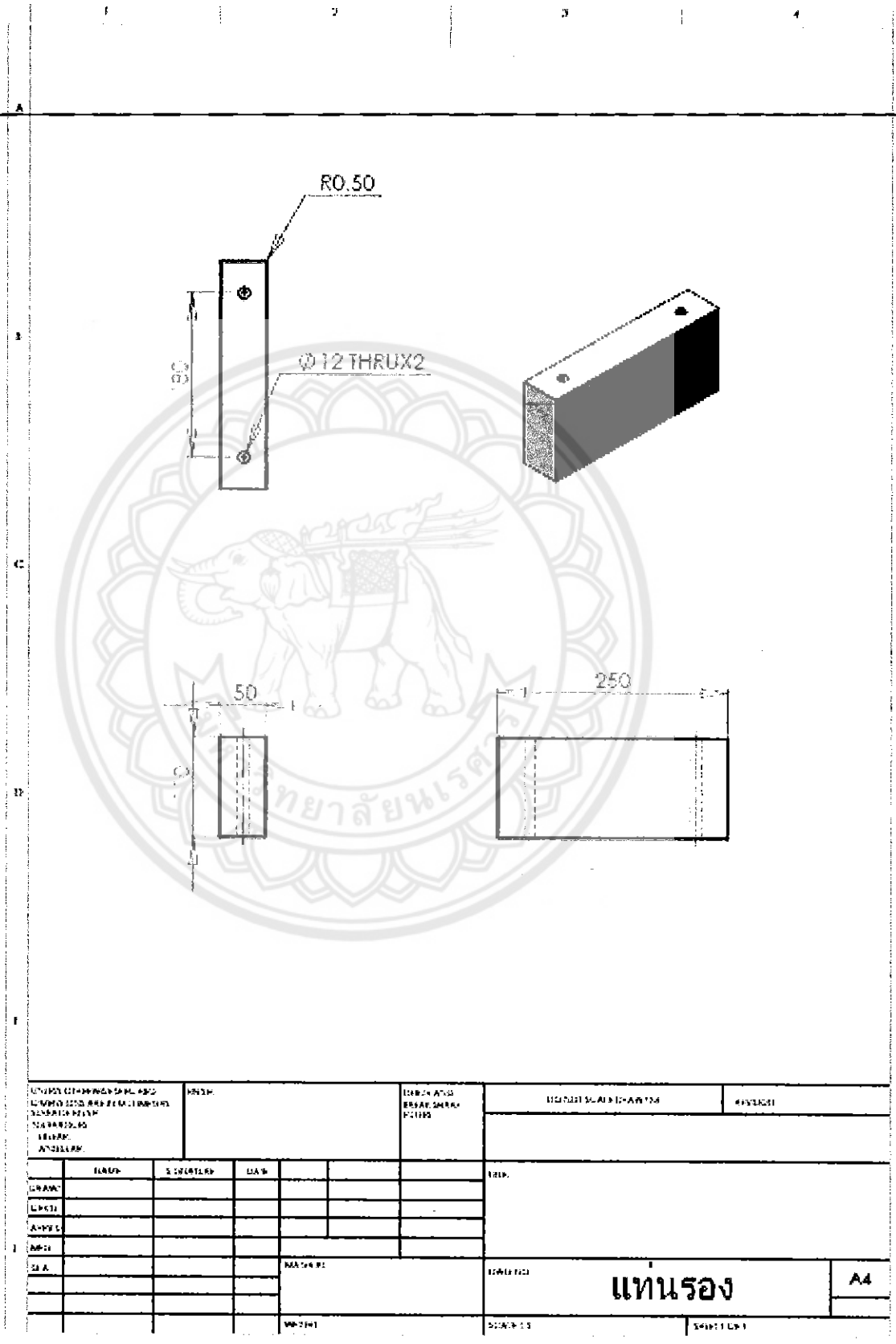
รูปที่ ก.4 แผ่นยึดด้านหลัง

3.2 สลักดึงแกนรูฉีด



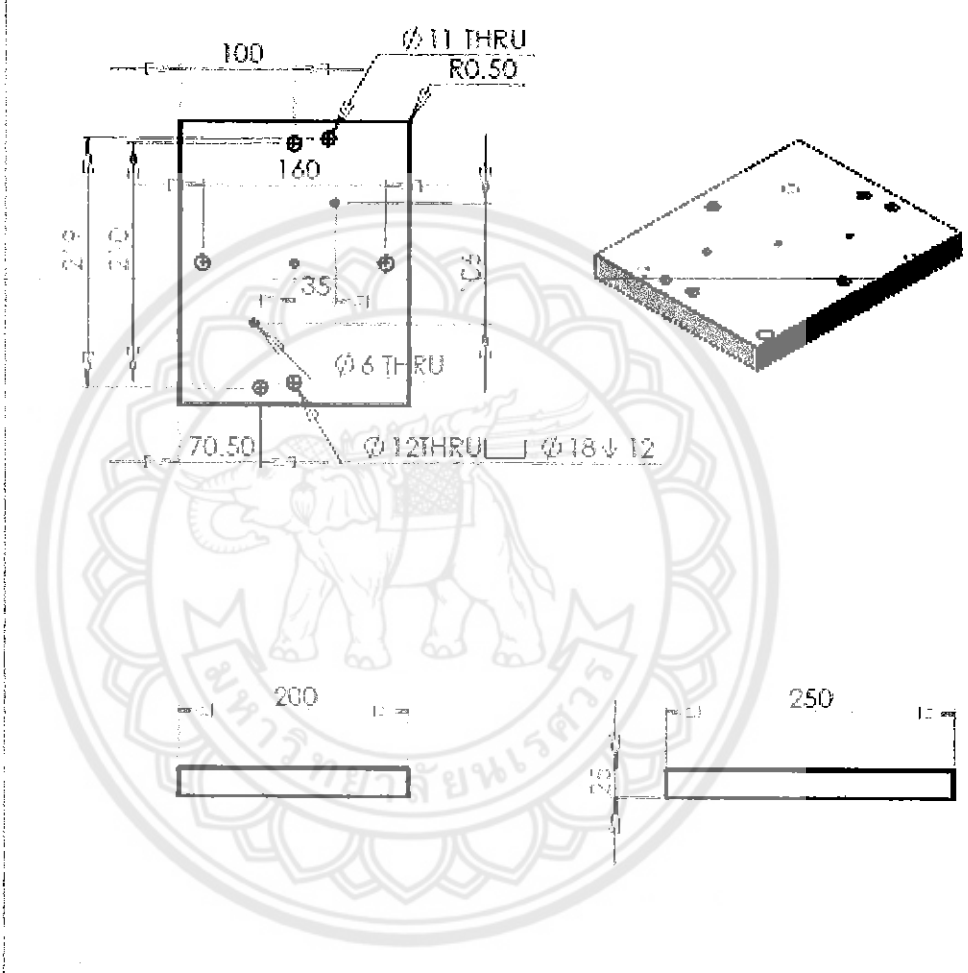
รูปที่ ก.5 สลักดึงแกนรูฉีด

3.3 แท่นรอง



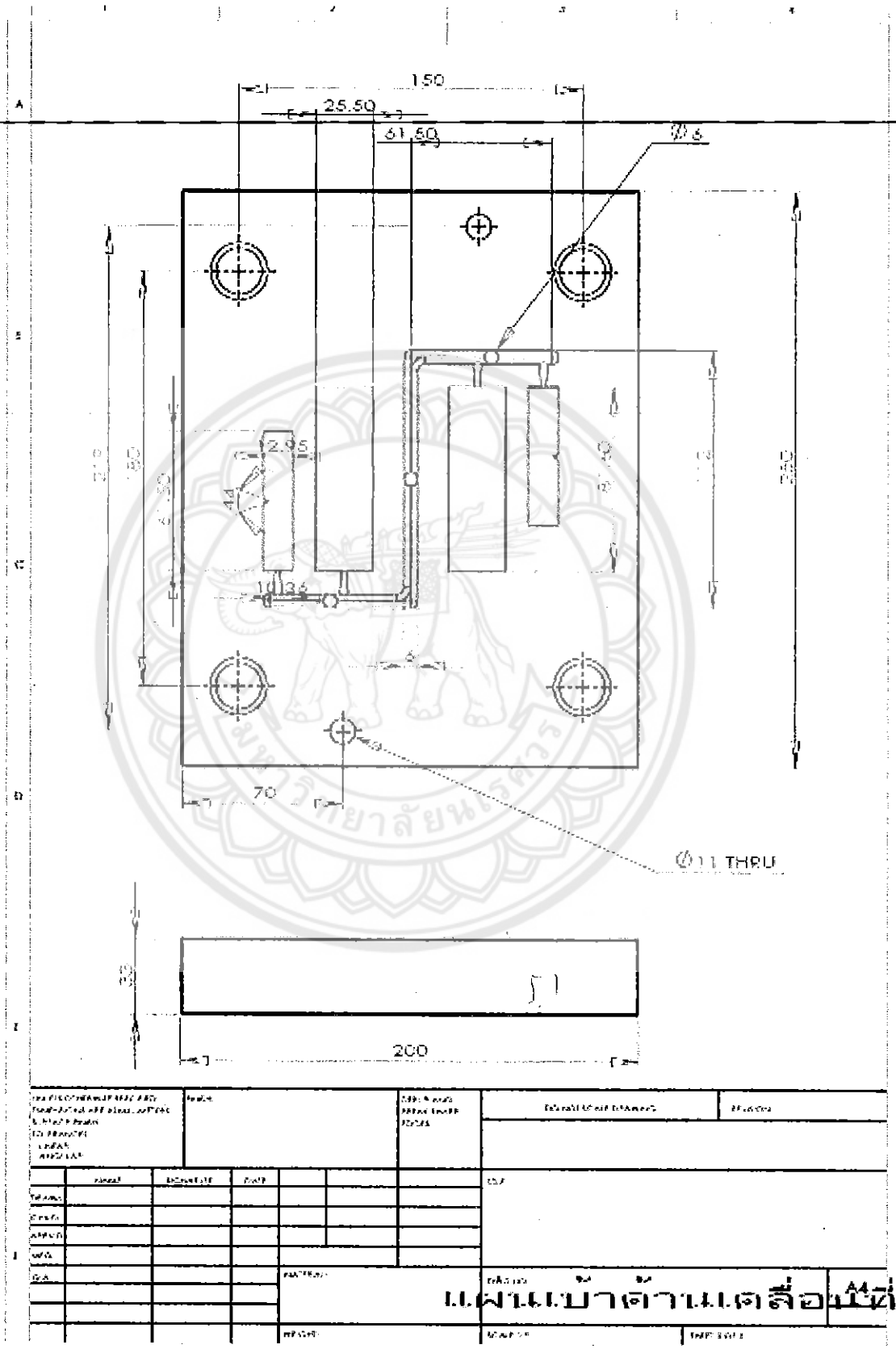
รูปที่ ก.6 แท่นรอง

3.4 แผ่นรองหลัง



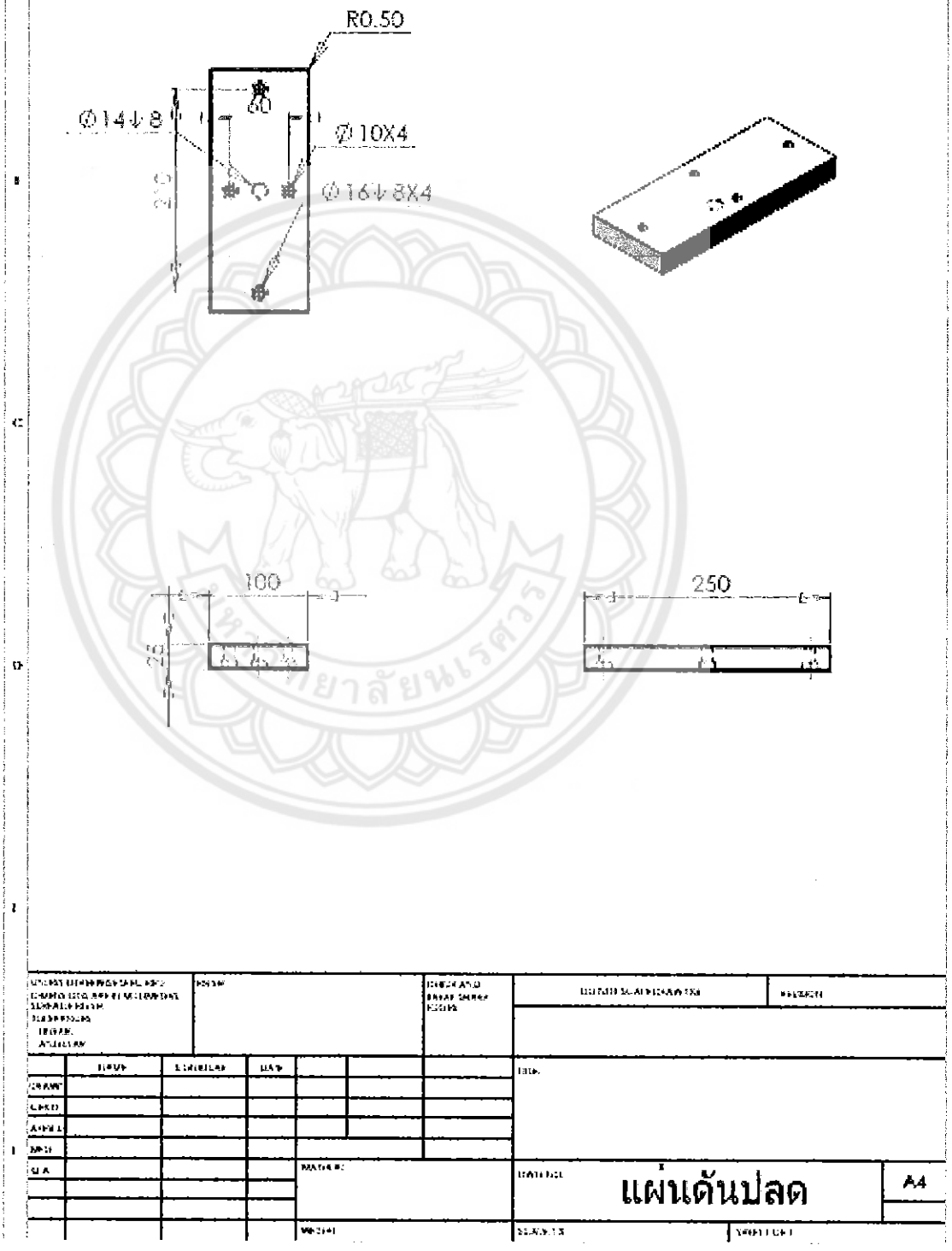
รูปที่ ก.7 แผ่นรองหลัง

3.5 แผ่นเบ้าด้านเคลื่อนที่



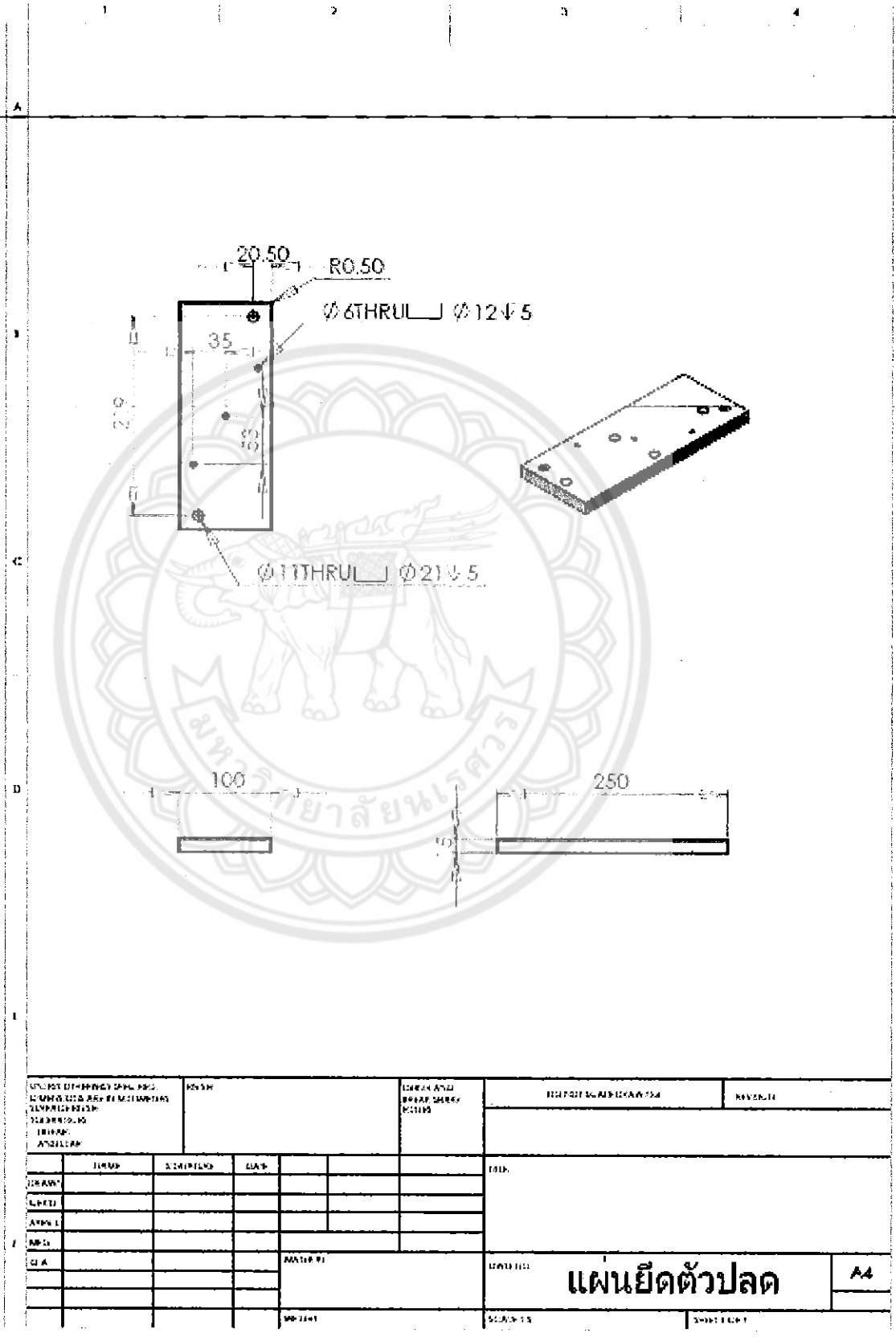
รูปที่ ก.8 แผ่นเบ้าเคลื่อนที่

3.6 แผ่นดันปลด



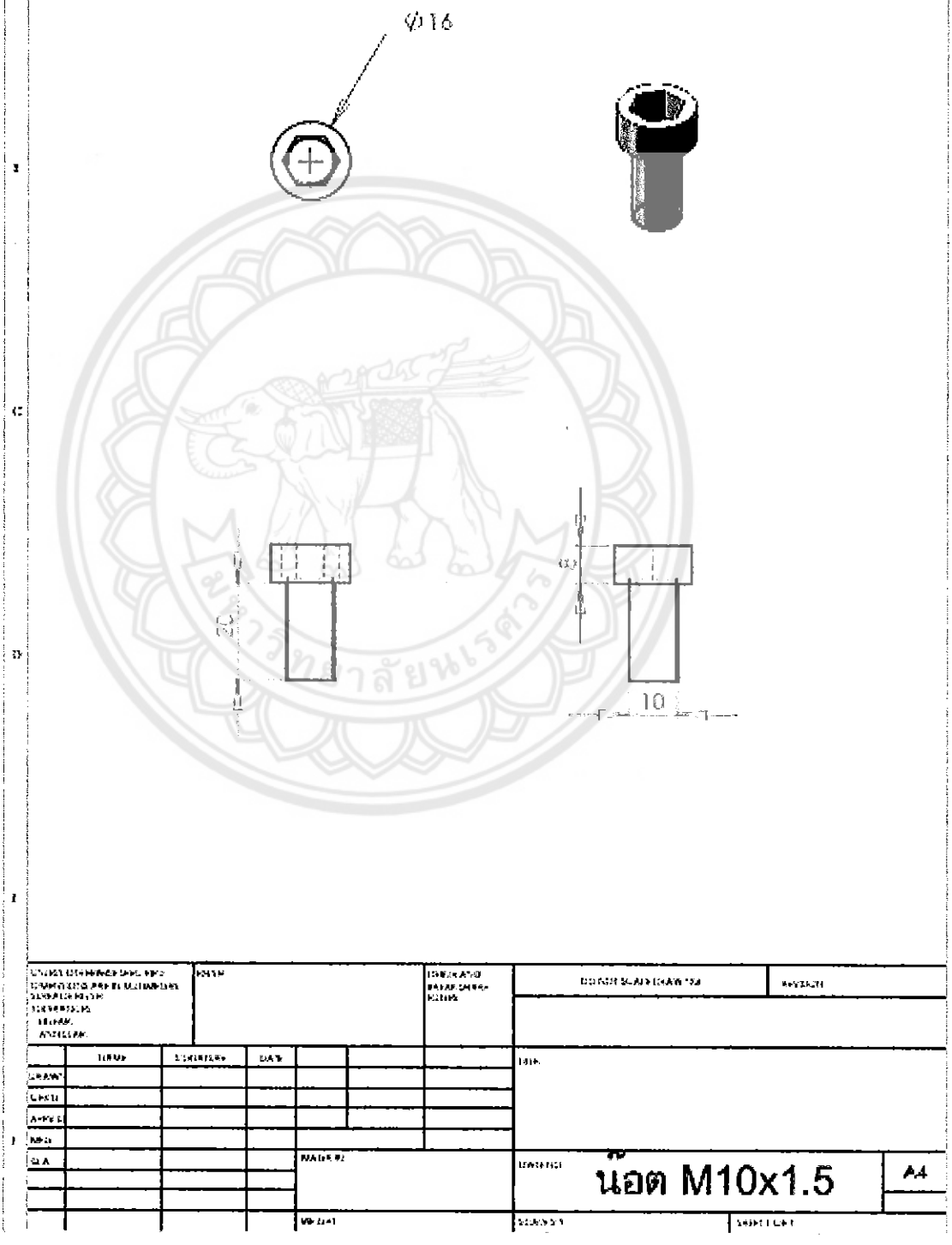
รูปที่ ก.9 แผ่นดันปลด

3.7 แผ่นยึดตัวปลด



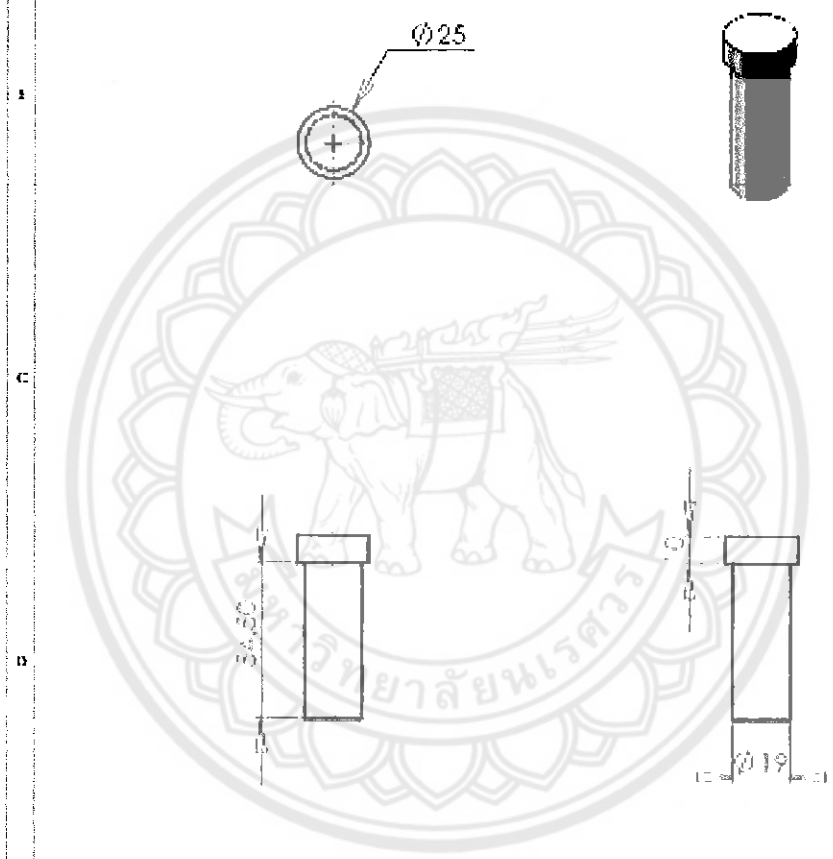
รูปที่ ก.10 แผ่นยึดตัวปลด

3.8 น็อตยึดแผ่นดันปลด M10X1.5 mm.



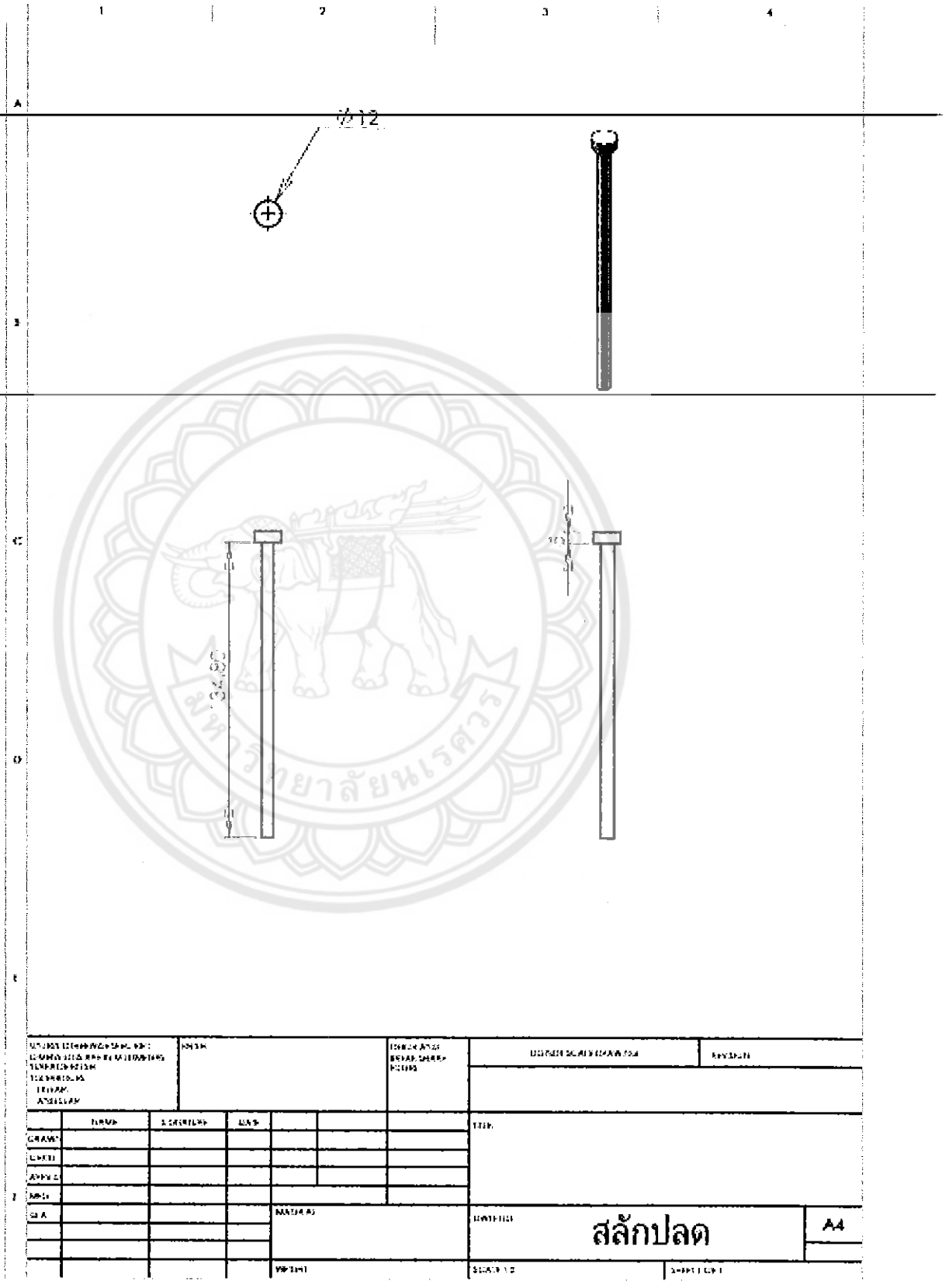
รูปที่ ก.11 น็อตยึดแผ่นดันปลด M10X1.5 mm.

3.9 เพลานำ



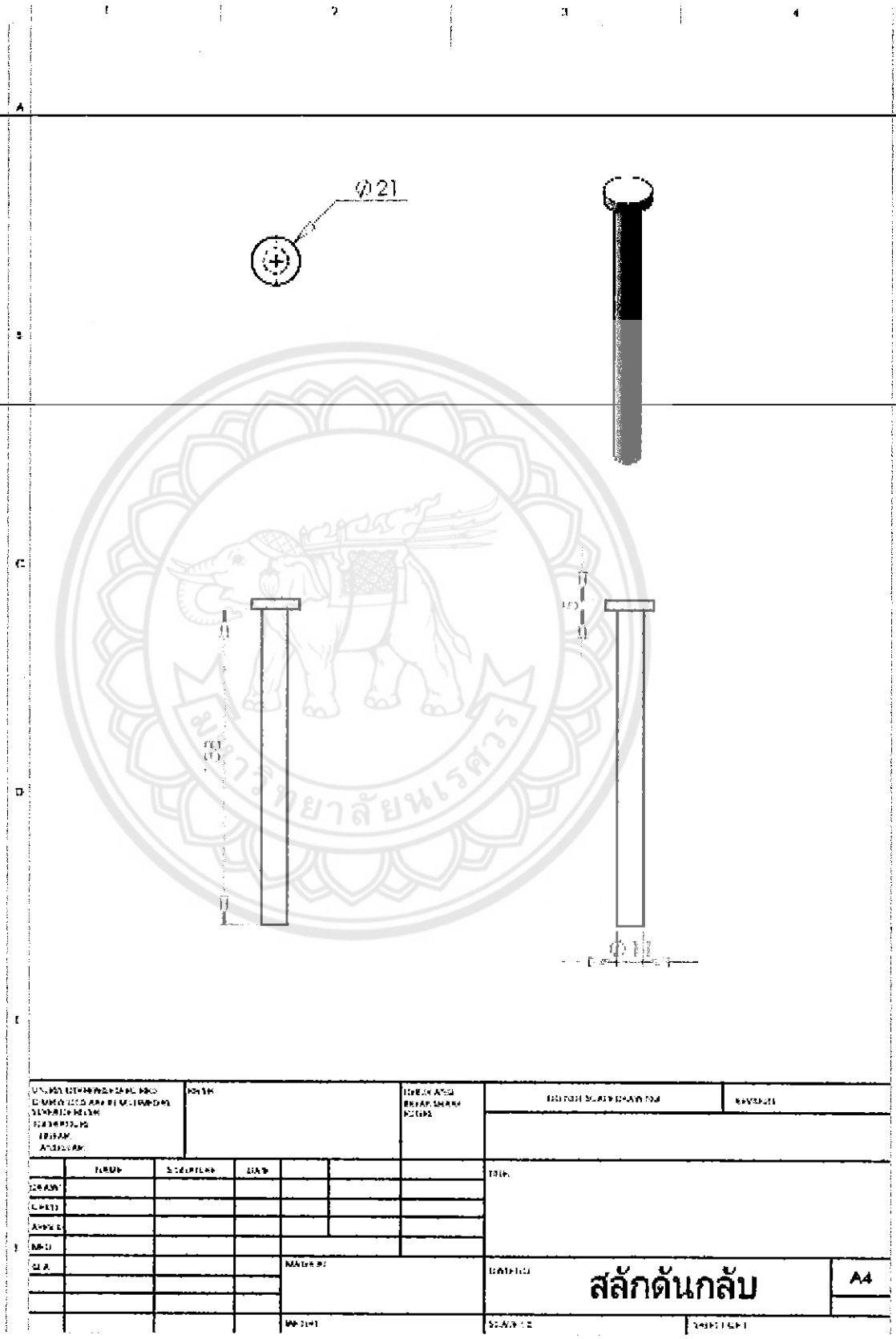
รูปที่ ก.12 เพลานำ

3.10 สลักปลด



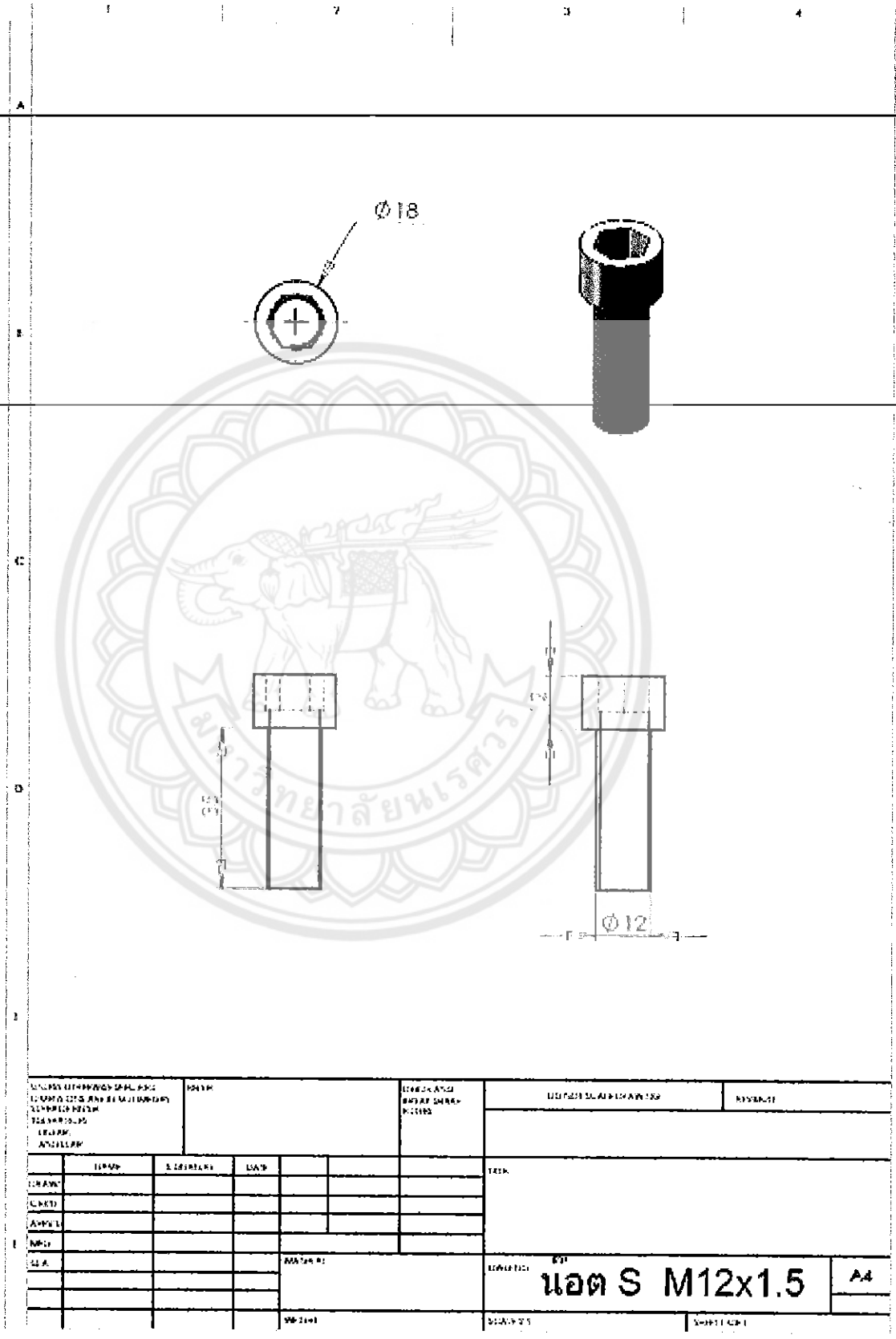
รูปที่ ก.13 สลักปลด

3.11 สลักดันกลับ



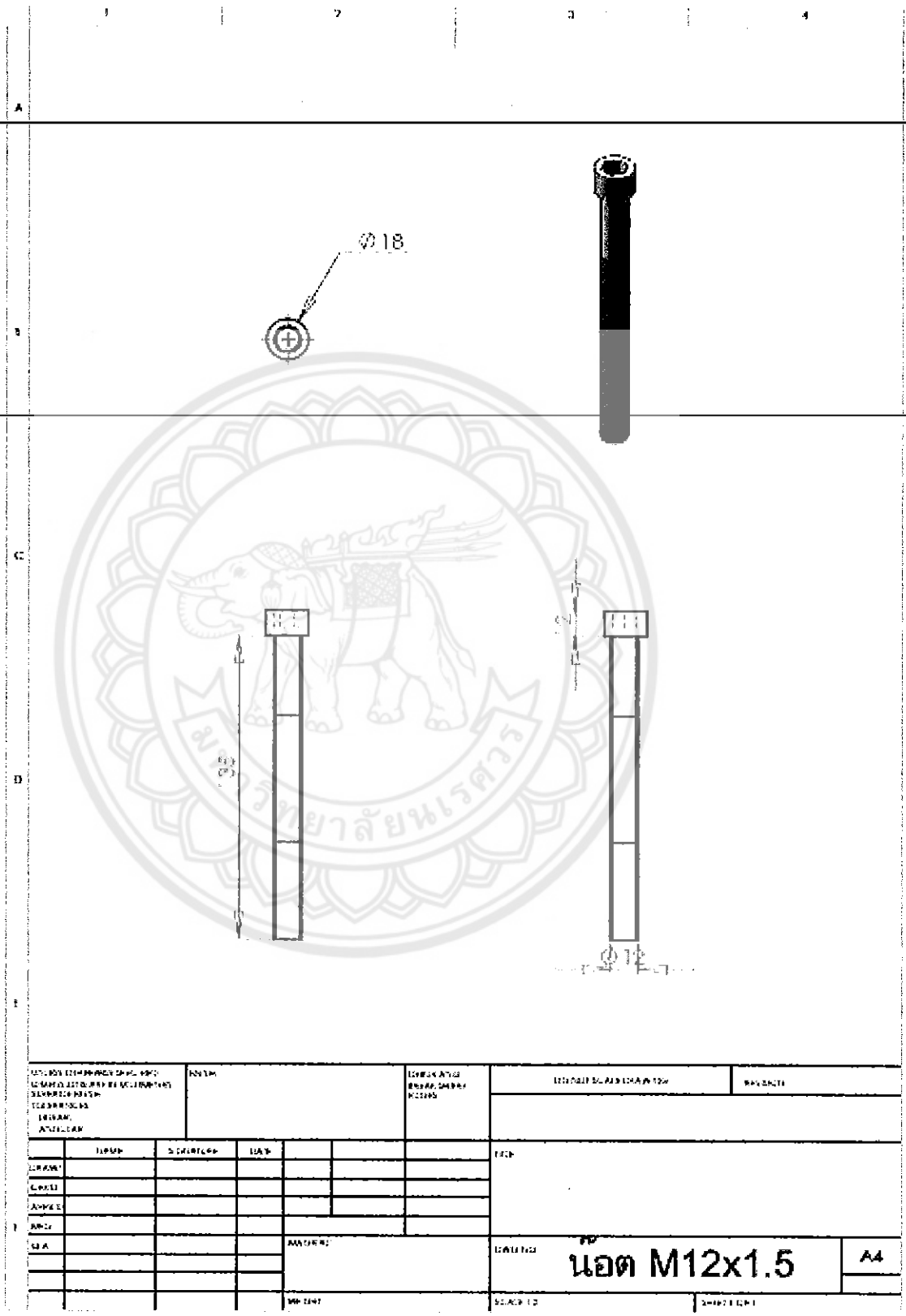
รูปที่ ก.14 สลักดันกลับ

3.12 น๊อตยึดแผ่นประกบ M12X1.5 mm.



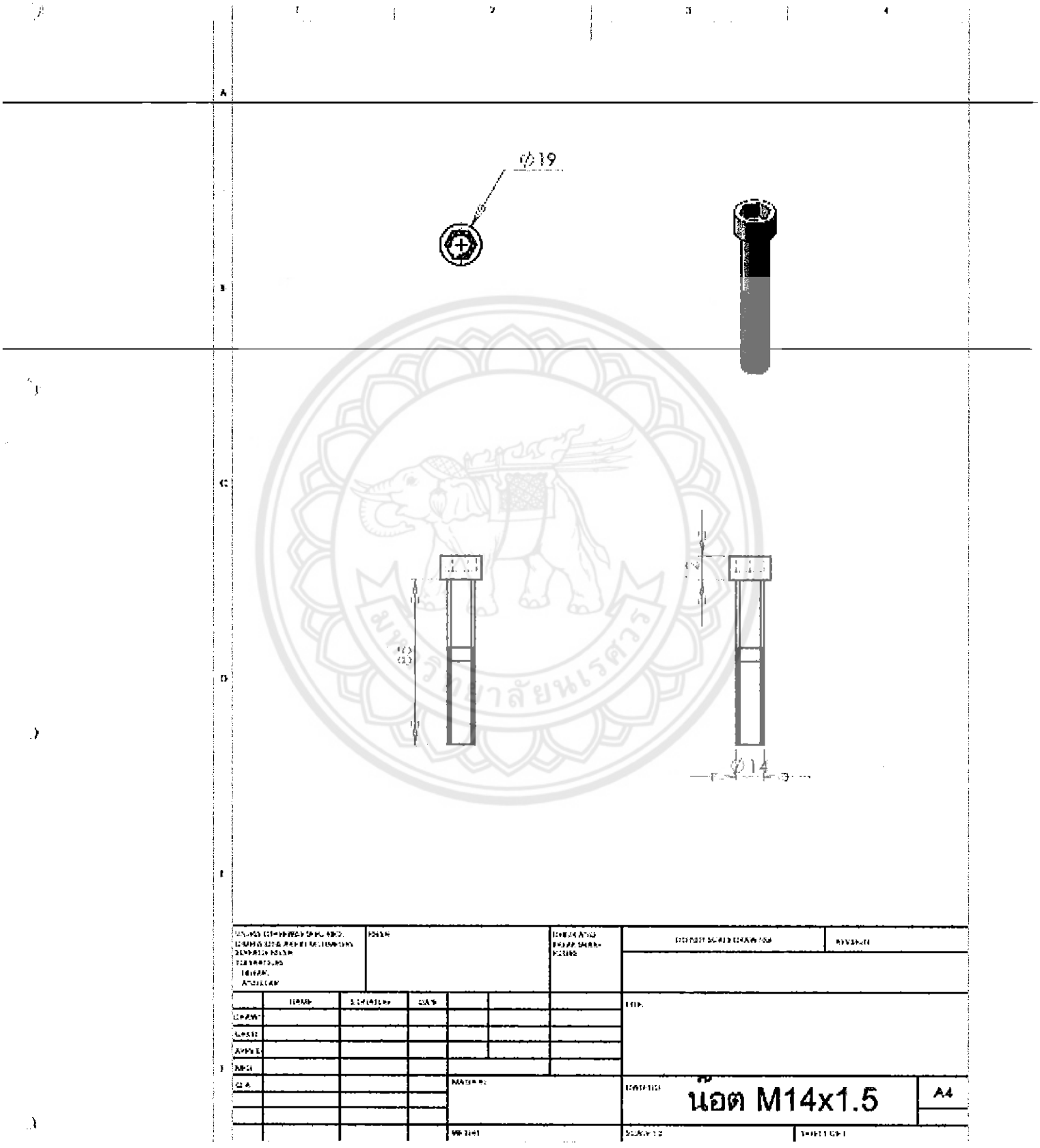
รูปที่ ก.15 น๊อตยึดแผ่นประกบ M12X1.5 mm.

3.13 น็อตยึดแท่นรอง M12X1.5 mm.



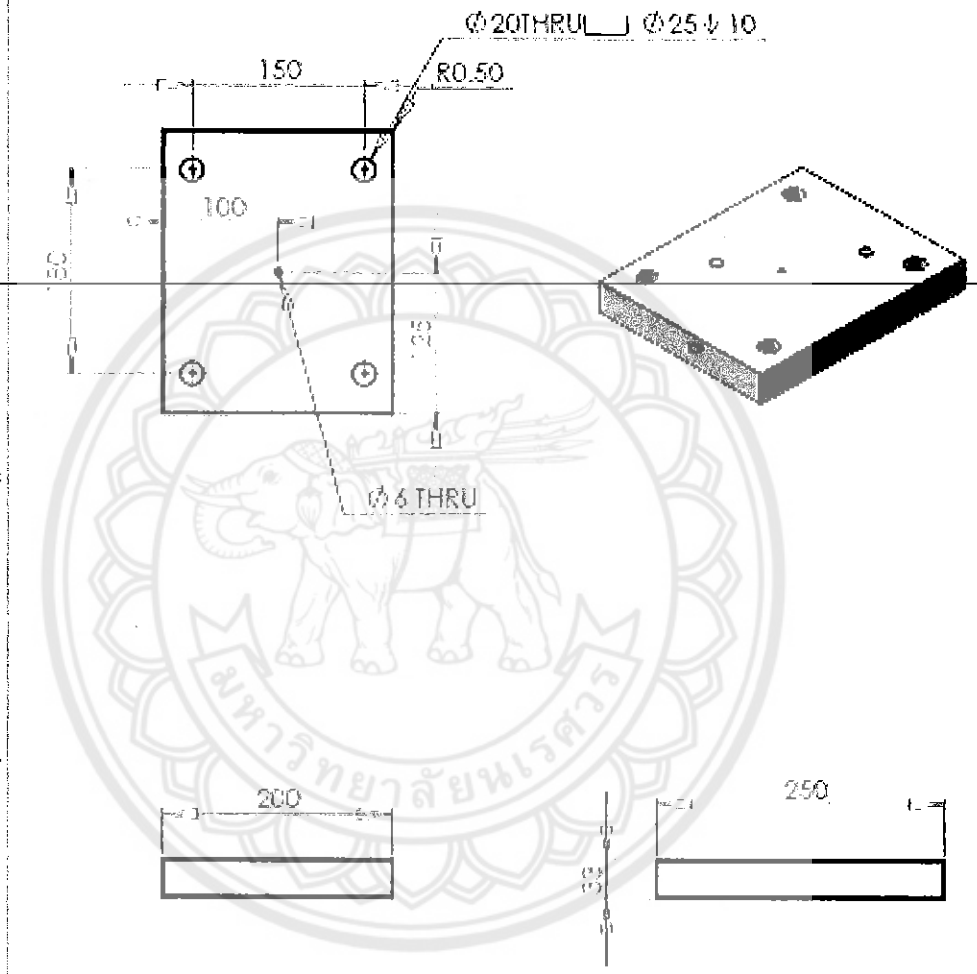
รูปที่ ก.16 น็อตยึดแท่นรอง M12X1.5 mm.

3.14 น็อตปรับตั้ง M14X1.5 mm.



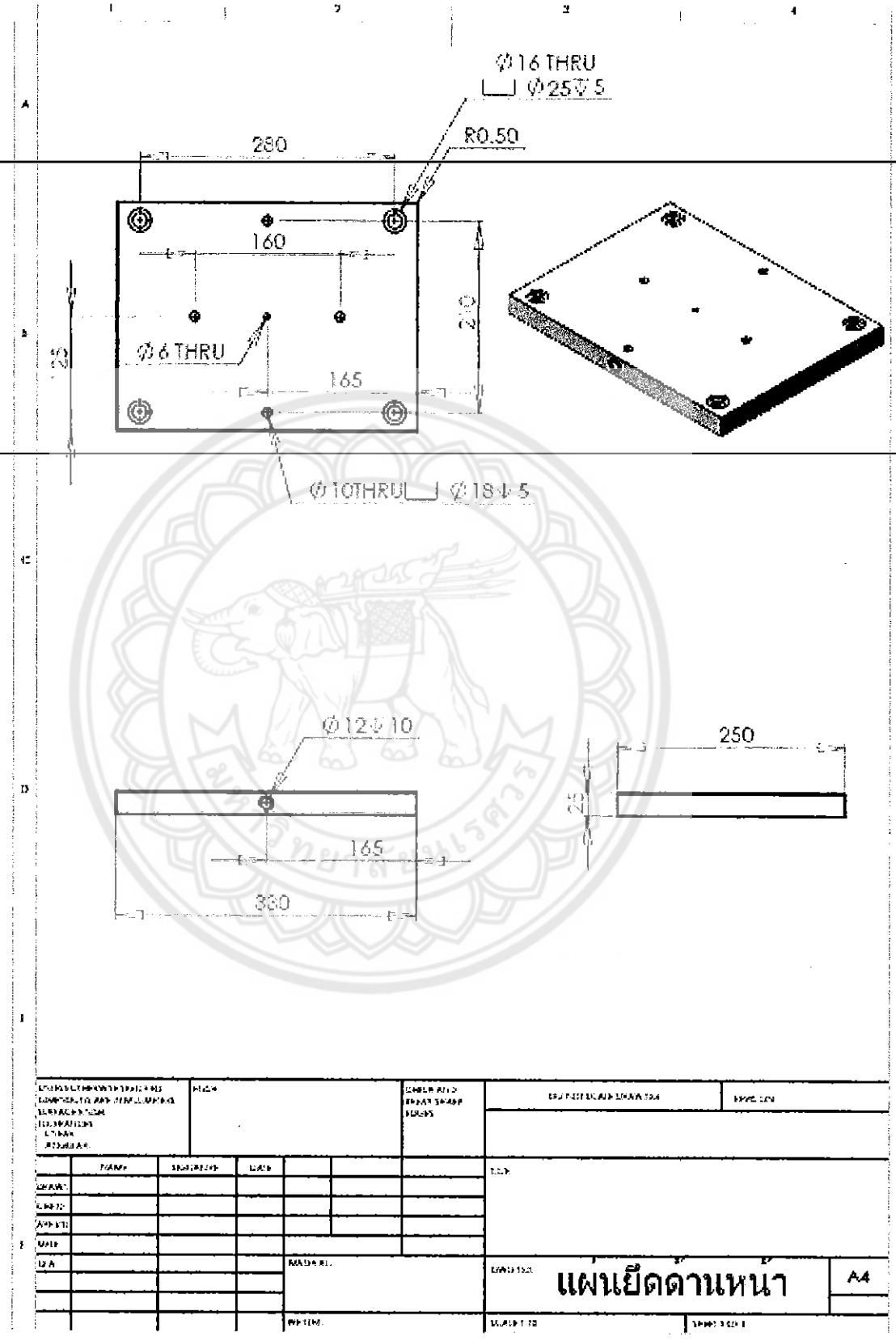
รูปที่ ก.17 น็อตปรับตั้ง M14X1.5 mm.

3.15 แผ่นประกบเบ้า



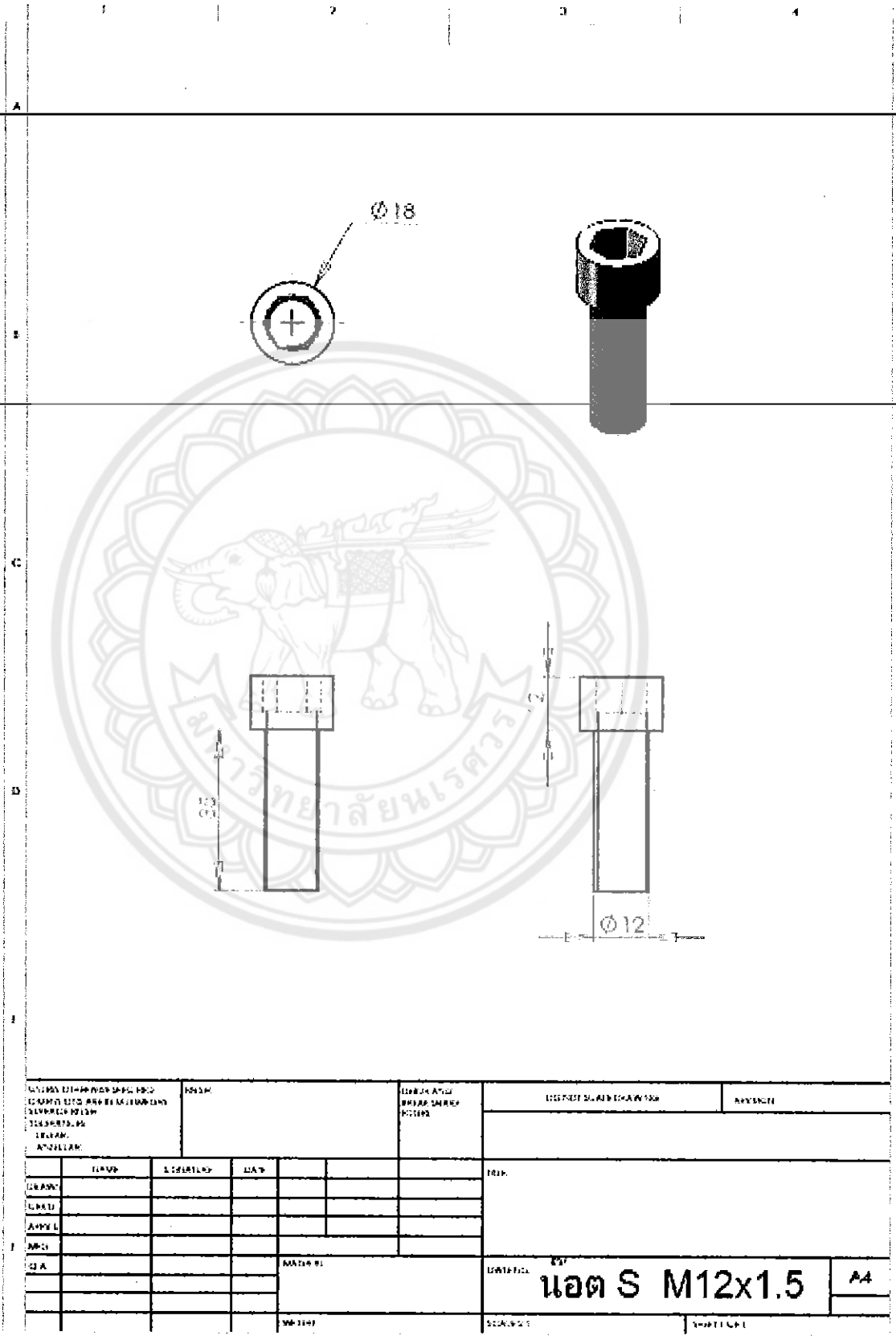
รูปที่ ก.18 แผ่นประกบเบ้า

3.16 แผ่นยึดด้านหน้า



รูปที่ ก.19 แผ่นยึดด้านหน้า

3.17 น๊อตยึดแผ่นเบ้า M12X1.5 mm.

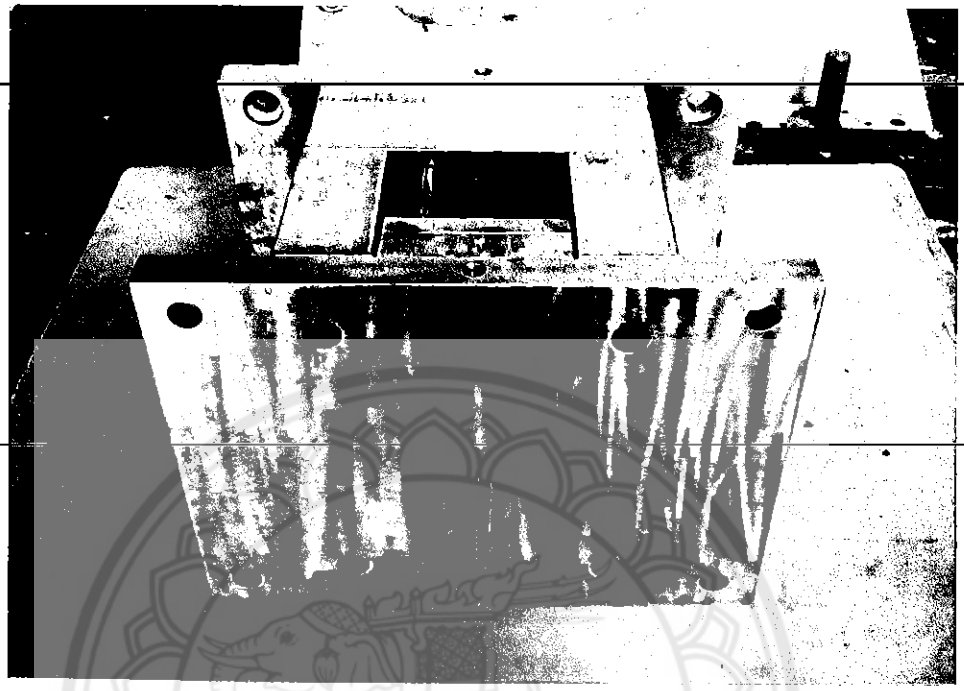


รูปที่ ก.20 น๊อต M12X1.5 mm.

ภาคผนวก ข

แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

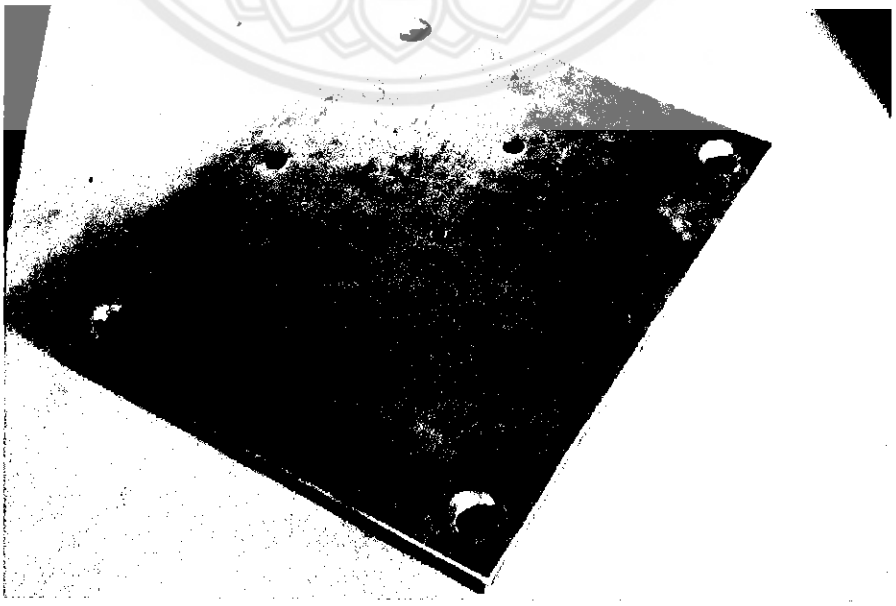
แม่พิมพ์ฉีดพลาสติก



รูปที่ ข.1 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกจริง

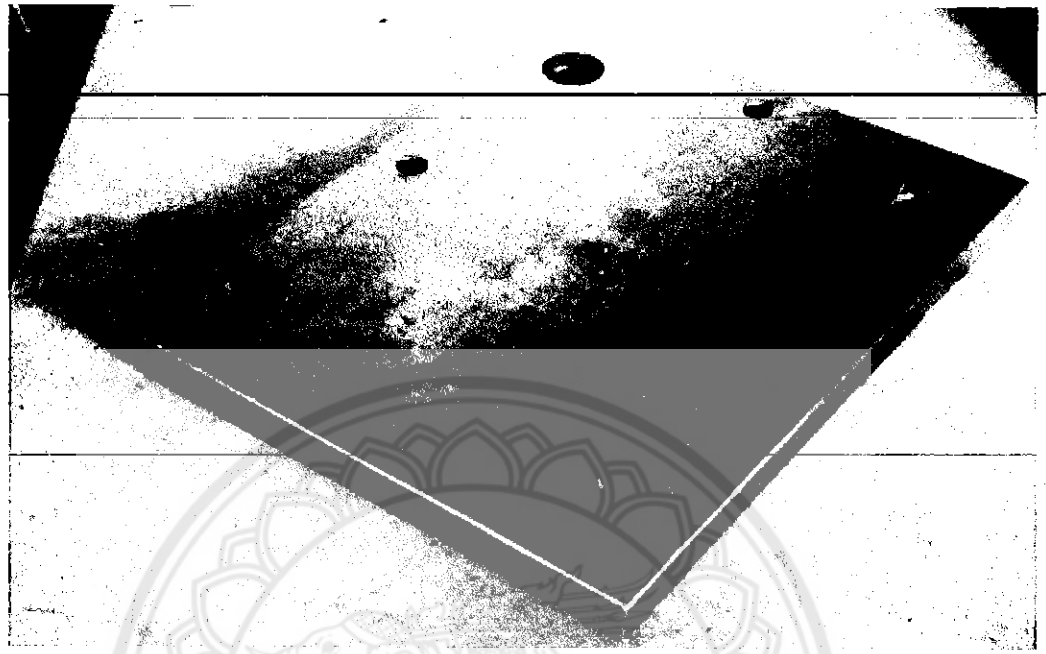
ชิ้นส่วนประกอบของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

1.แผ่นยึดด้านหน้า (1 แผ่น)



รูปที่ ข.2 แผ่นยึดด้านหน้า

2.แผ่นประกบเบ้า (1 แผ่น)

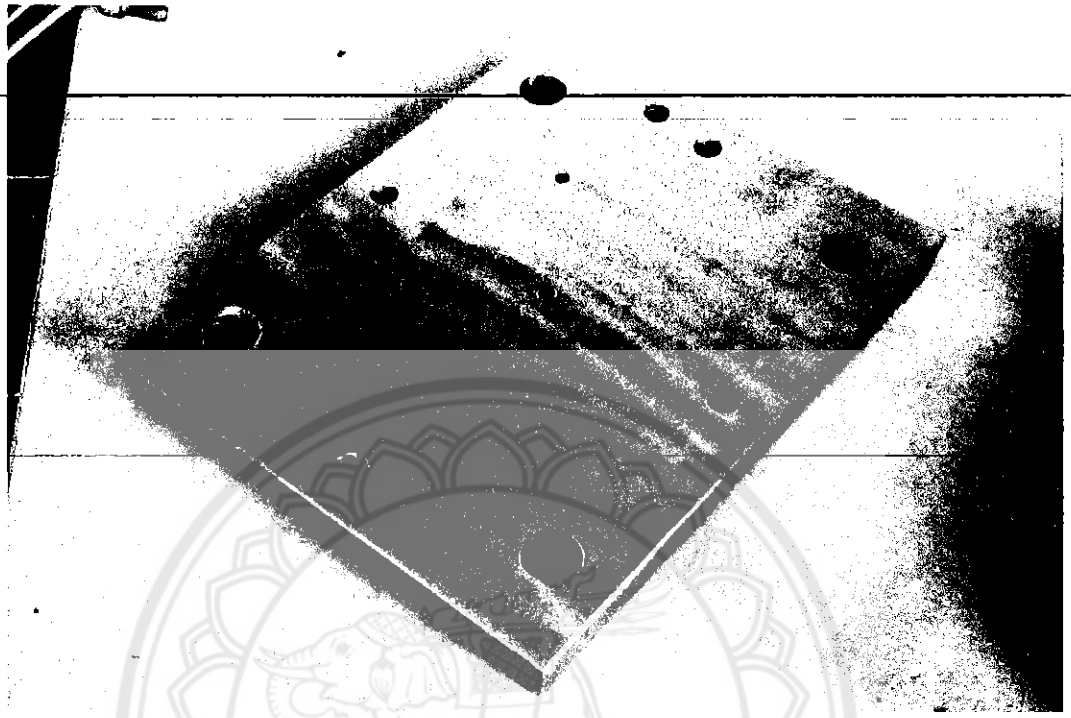


รูปที่ ข.3 แผ่นประกบอิมเพรสชั่น

3. แผ่นเบ้าด้านเคลื่อนที่ (1 แผ่น)

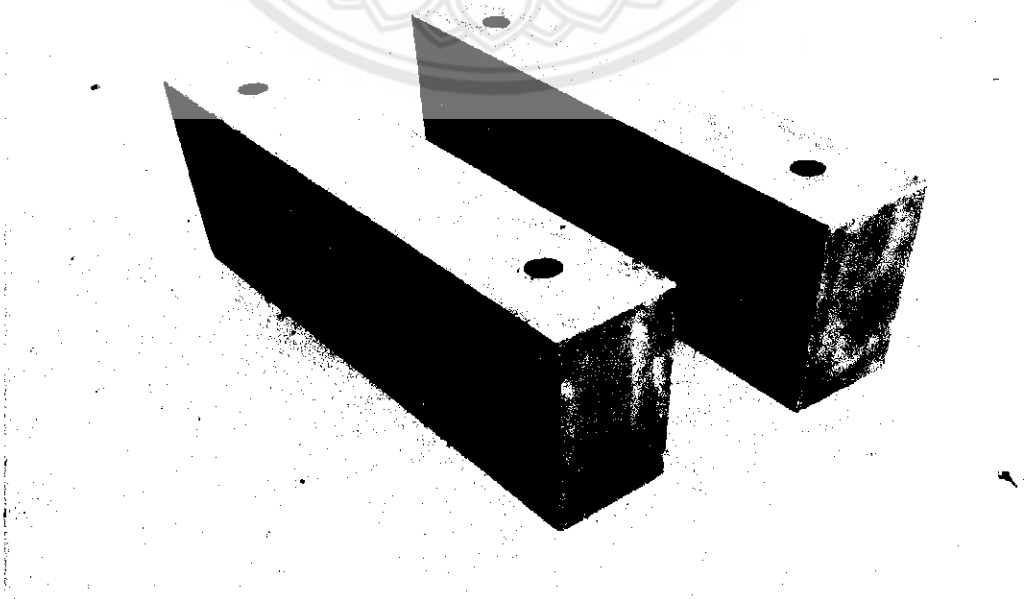
รูปที่ ข.4 แผ่นอิมเพรสชั่นด้านเคลื่อนที่

4. แผ่นรองหลัง (1 แผ่น)



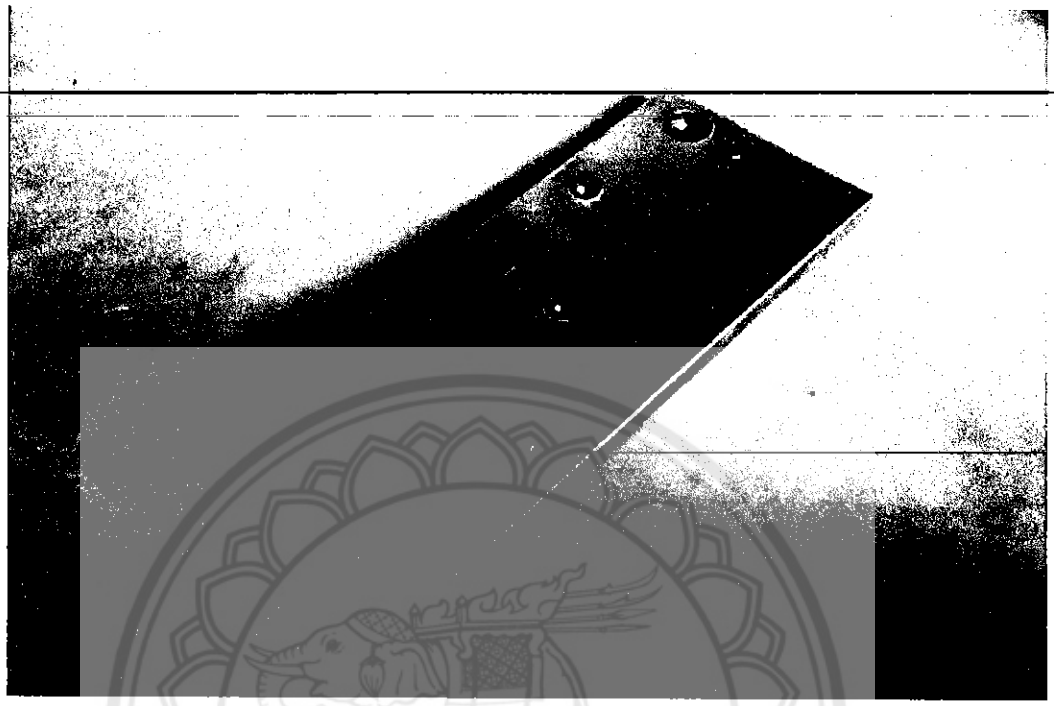
รูปที่ ข.5 แผ่นรองหลัง

5.แท่นรอง (2 ชิ้น)



รูปที่ ข.6 แท่นรอง

6. แผ่นยึดตัวปลด (1 แผ่น)

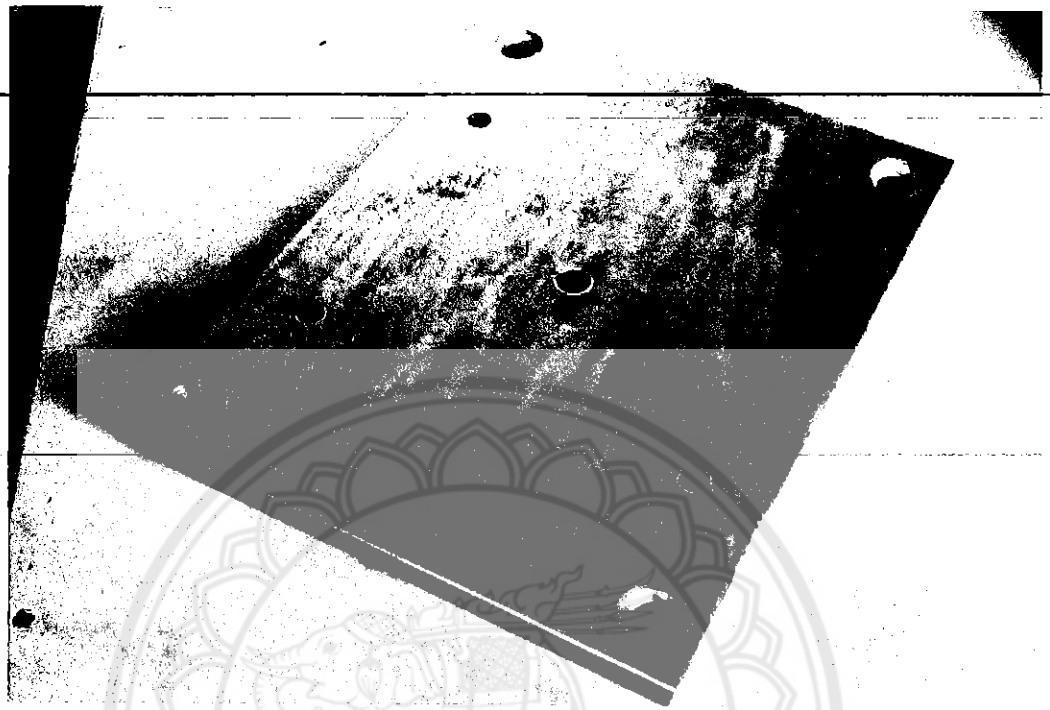


รูปที่ ข.7 แผ่นยึดตัวปลด

7. แผ่นดันปลด (1 แผ่น)

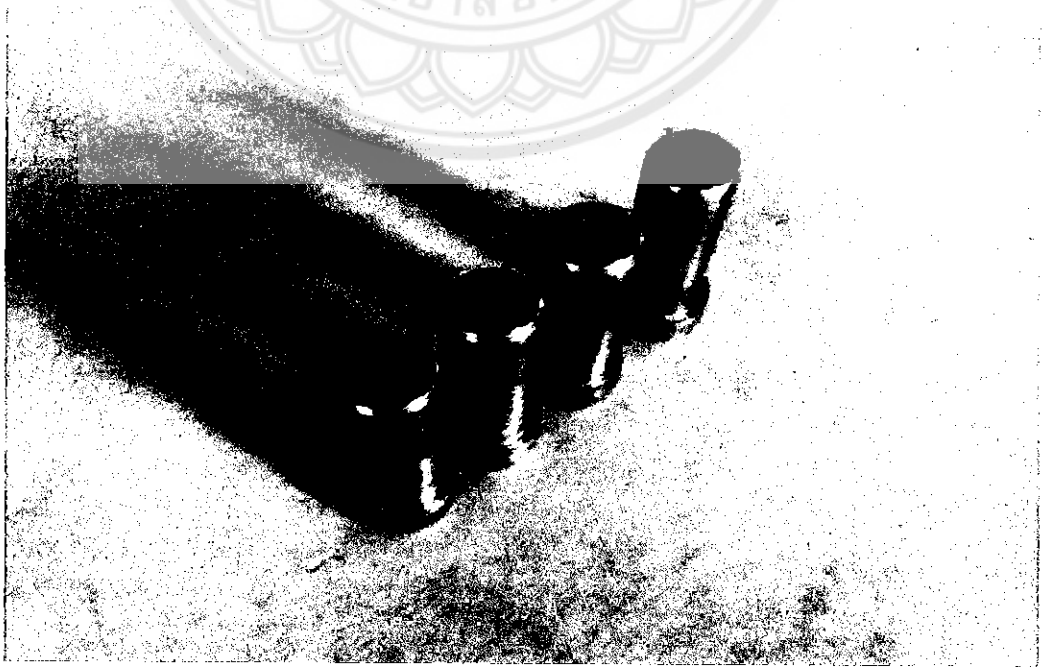
รูปที่ ข.8 แผ่นดันปลด

8. แผ่นยึดด้านหลัง (1 แผ่น)



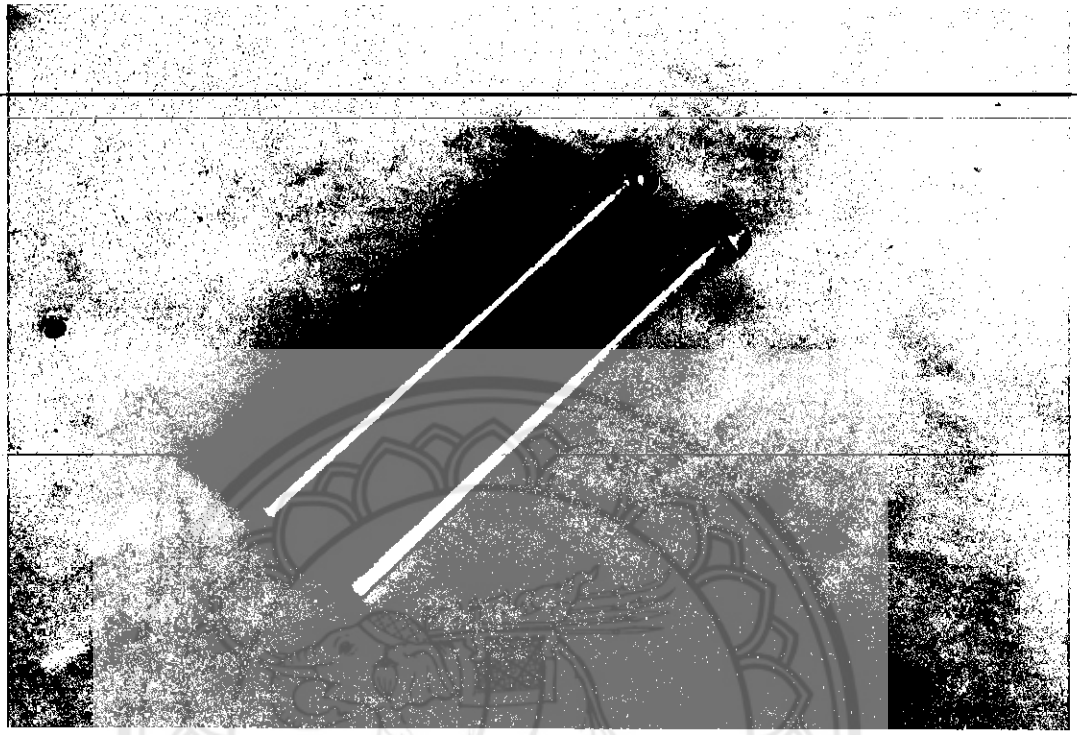
รูปที่ ข.9 แผ่นยึดด้านหลัง

9. เพลานำ (4 ตัว)



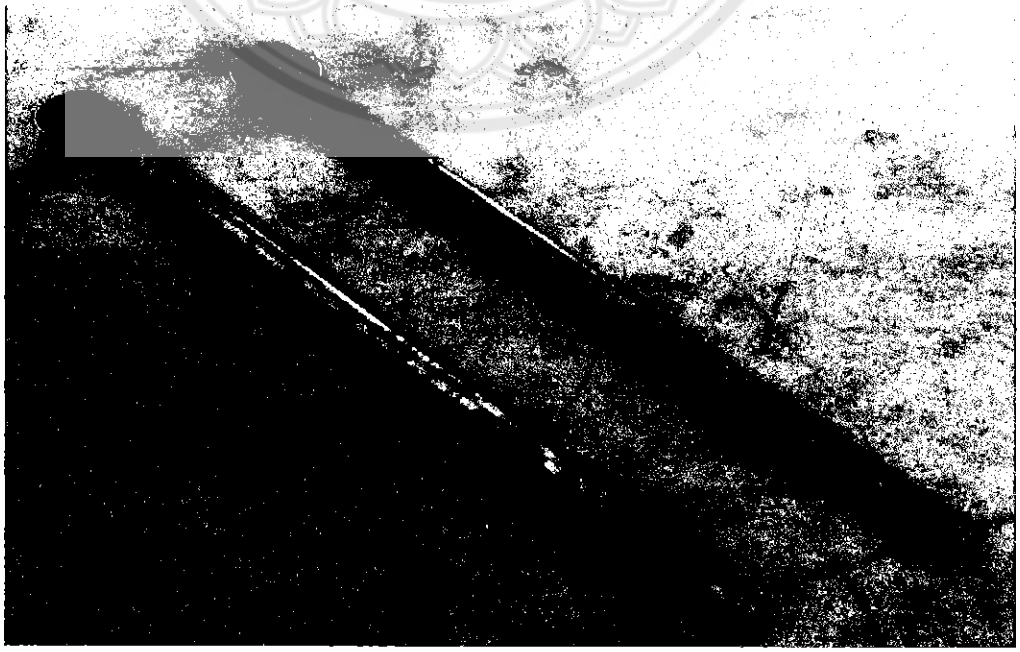
รูปที่ ข.10 เพลานำ

10. สลักดันกลับ (2 ชิ้น)



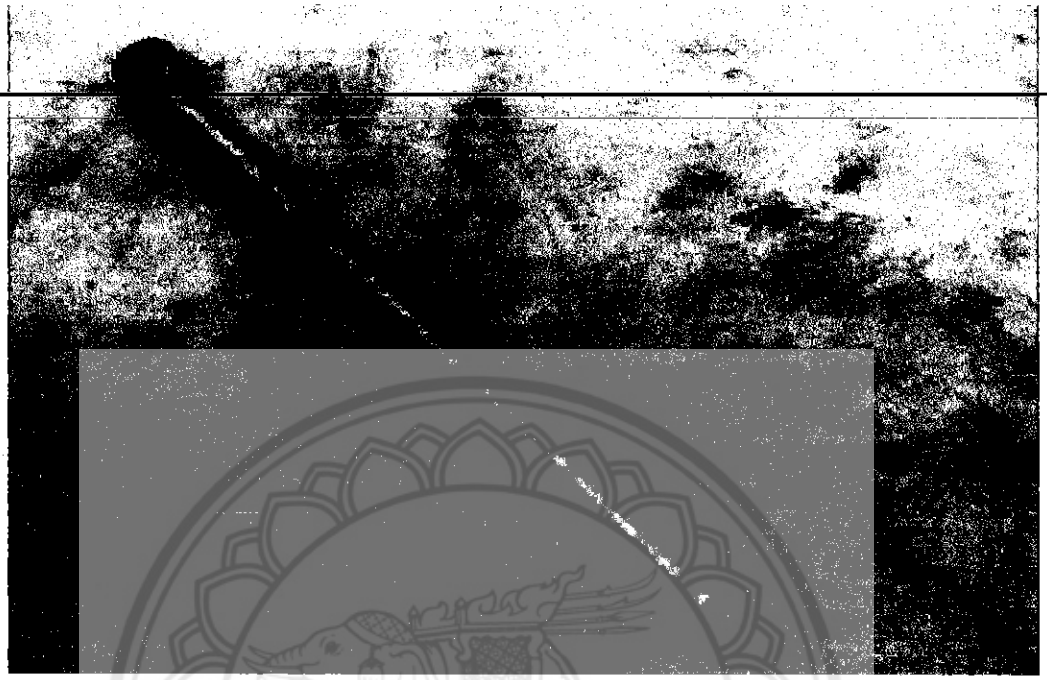
รูปที่ ข.11 สลักดันกลับ

11. สลักปลด (2 ชิ้น)



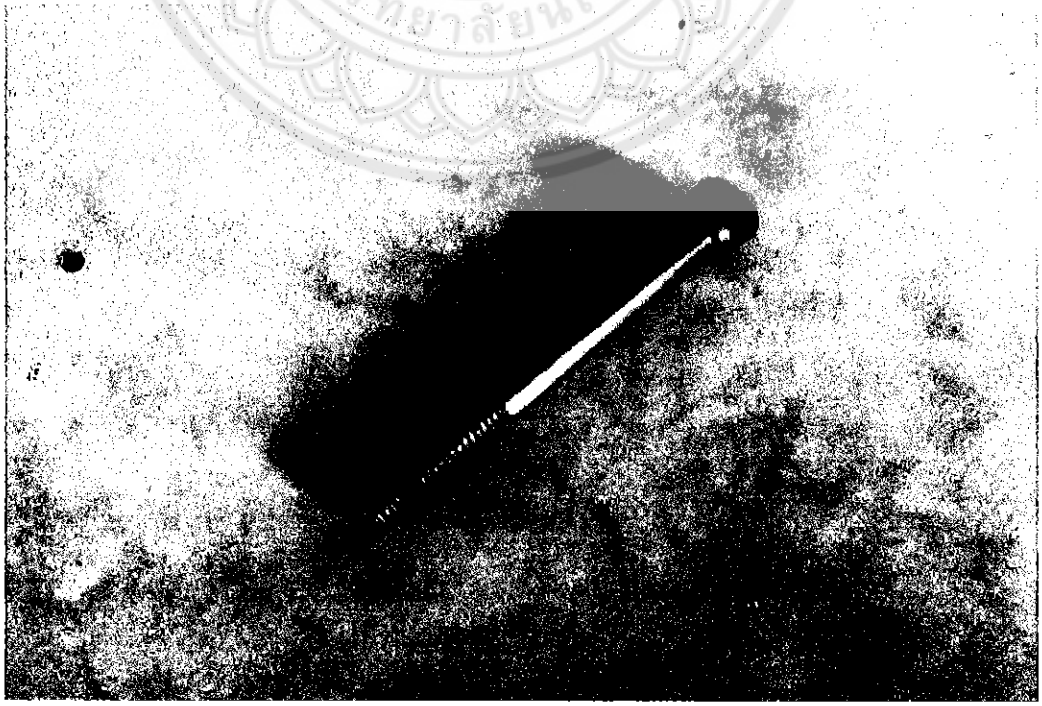
รูปที่ ข.12 สลักปลด

12. สลักดึงแกนรูฉีด (1 ชิ้น)



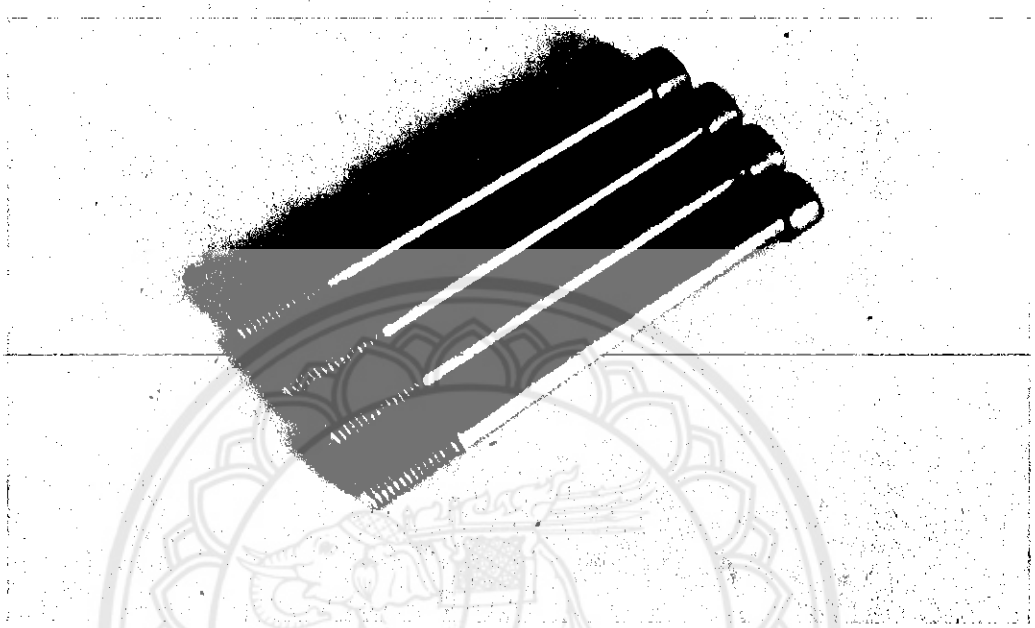
รูปที่ ข.13 สลักดึงแกนรูฉีด

13. M14x1.5 น๊อตปรับตั้ง (1ตัว)



รูปที่ ข.14 M14x1.5 น๊อตปรับตั้ง

14. M12x1.5 น๊อตแท่นรอง (4 ตัว)

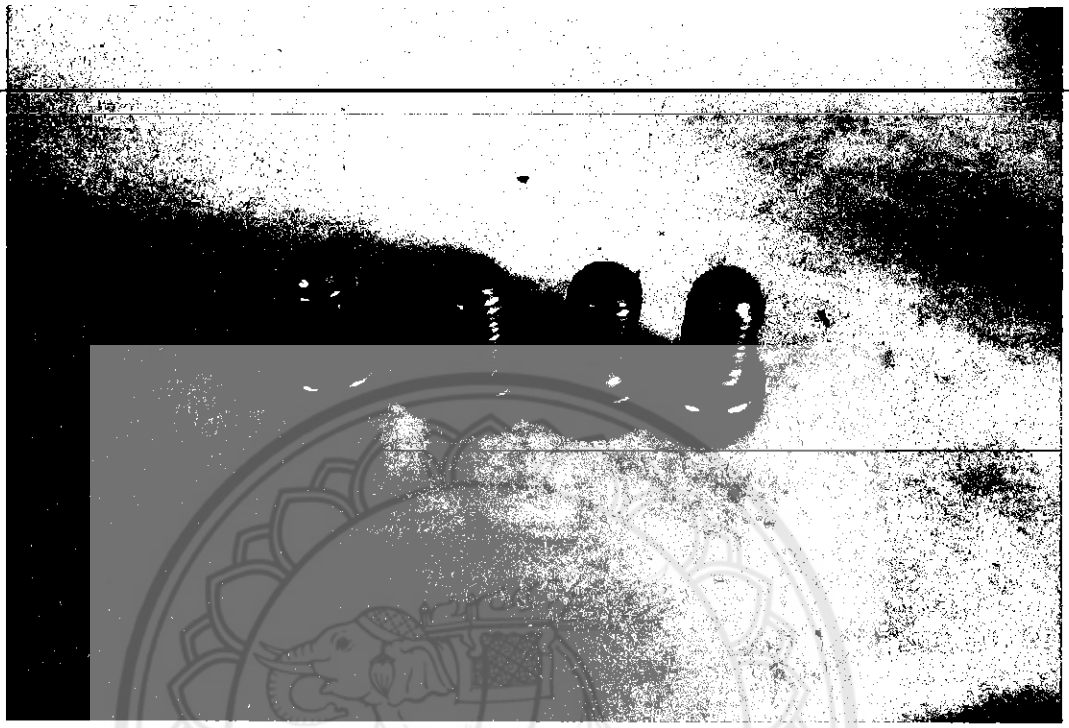


รูปที่ ข.15 M12x1.5 น๊อตแท่นรอง

15. M12x1.5 น๊อตโมล&แผ่นหน้า (8 ตัว)

รูปที่ ข.16 M12x1.5 น๊อตโมล&แผ่นหน้า

16. M10x1.5 น๊อตแผ่นเคลื่อนที่&แผ่นร่องนำฉีด (8 ตัว)



รูปที่ ข.17 M10x1.5 น๊อตแผ่นเคลื่อนที่&แผ่นร่องนำฉีด

ภาคผนวก ค

ขั้นตอนการทำงานของ Mastercam X4

ขั้นตอนการทำงานของ Mastercam X4

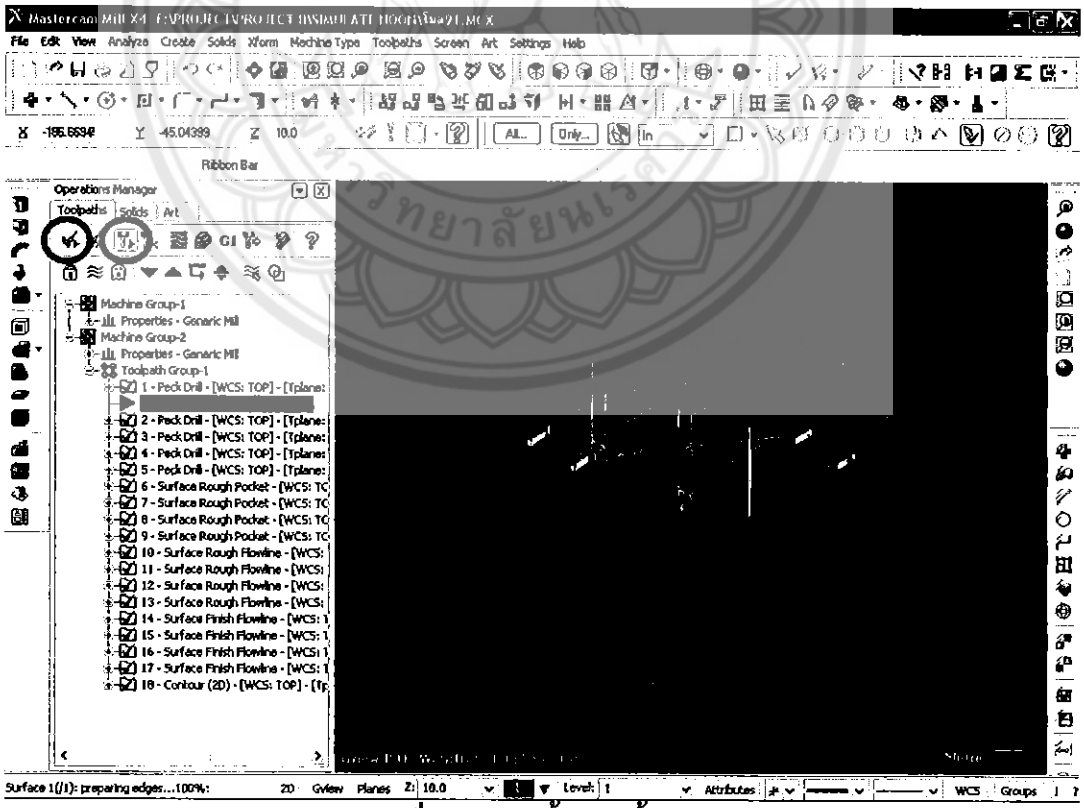
ในการทำงานของ โปรแกรม Mastercam ใช้ในจำลองการกัดบนแม่พิมพ์นี้จะคำนึงถึงความเป็นไปได้ที่ทำการกัดแม่พิมพ์ที่เป็นเหล็กของการเคลื่อนที่ของดอกกัด จากการออกแบบโดยโปรแกรม โดยโปรแกรม SolidWorks และหลังจากนั้นทำการ Save File เป็น File (.*step) SolidWorks

1. ขั้นตอนการทดสอบเคลื่อนที่ของดอกกัด

เป็นการ Simulatetion จำลองการเคลื่อนที่ของดอกกัด เพื่อเช็คความถูกต้องของดอกกัดหรือตำแหน่งการเคลื่อนที่ตามคำสั่งที่เราได้กำหนดขึ้น และสามารถปรับปรุงแก้ไขค่า Parameter ต่างๆ เช่น Diameter ของดอกกัด ความเร็วรอบของเครื่อง ทำให้แม่นยำต่อการกัดชิ้นงานก่อนทำการกัดงานจริง สามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

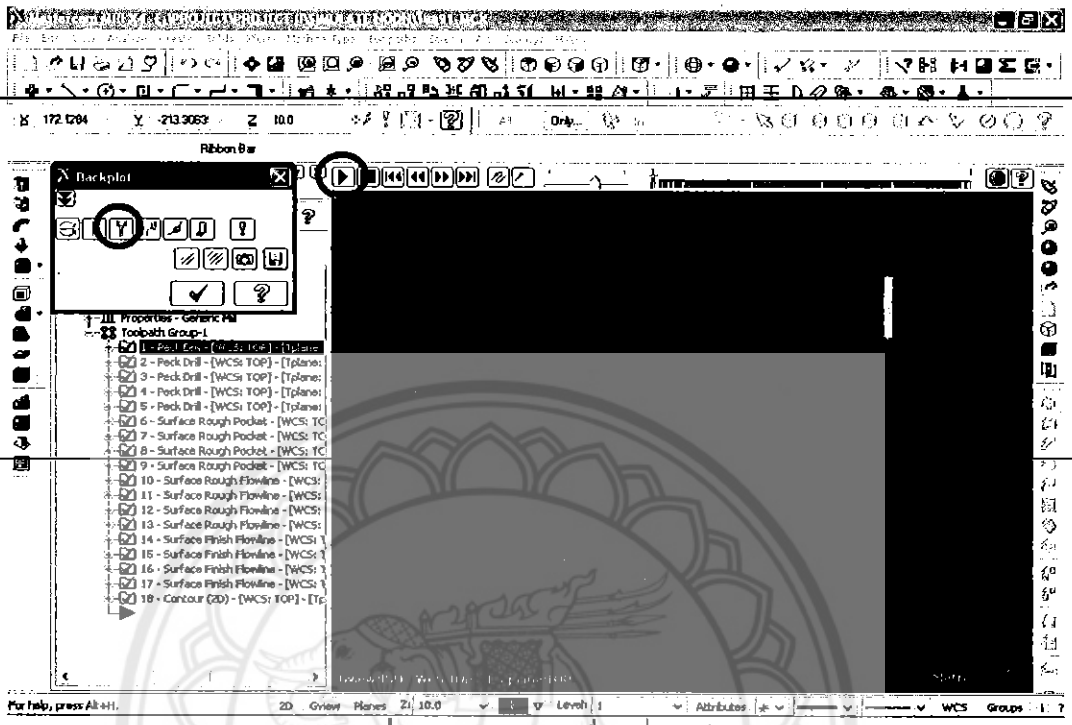
1.1 วิธี Backplot Selected operations

1.1.1 คลิก Select all operations →คลิก Regenerate Select all operations



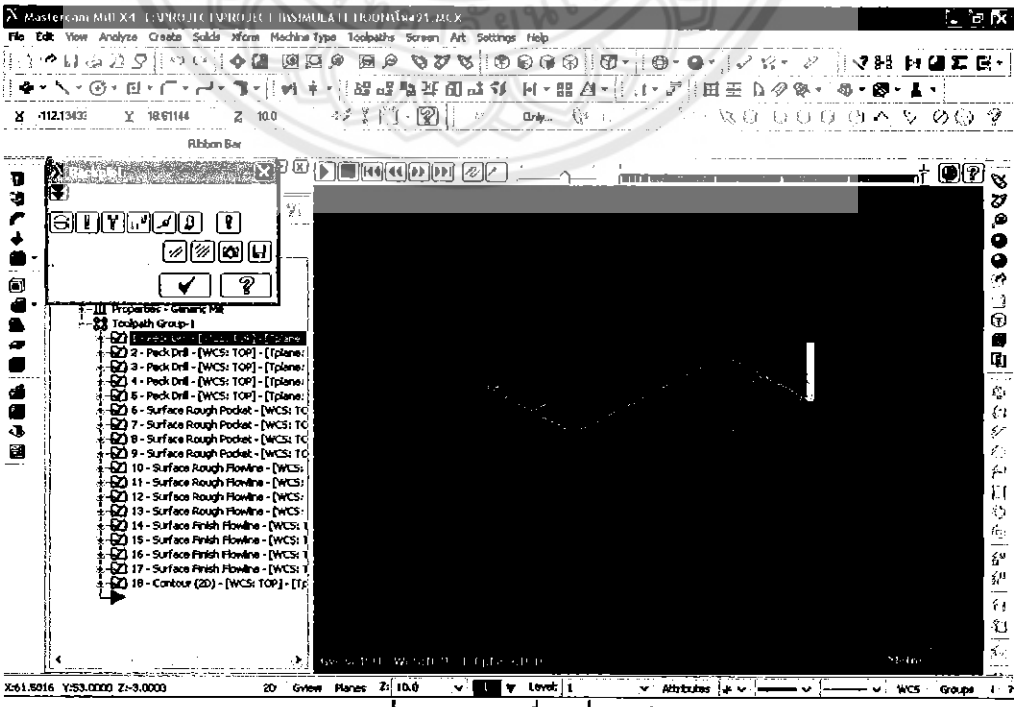
รูปที่ ค.1 เลือกขั้นตอนทั้งหมด

1.1.2 คลิก Backplot Selected operations → Display holder →



รูปที่ ค.2 แสดงการเคลื่อนที่ของมีด

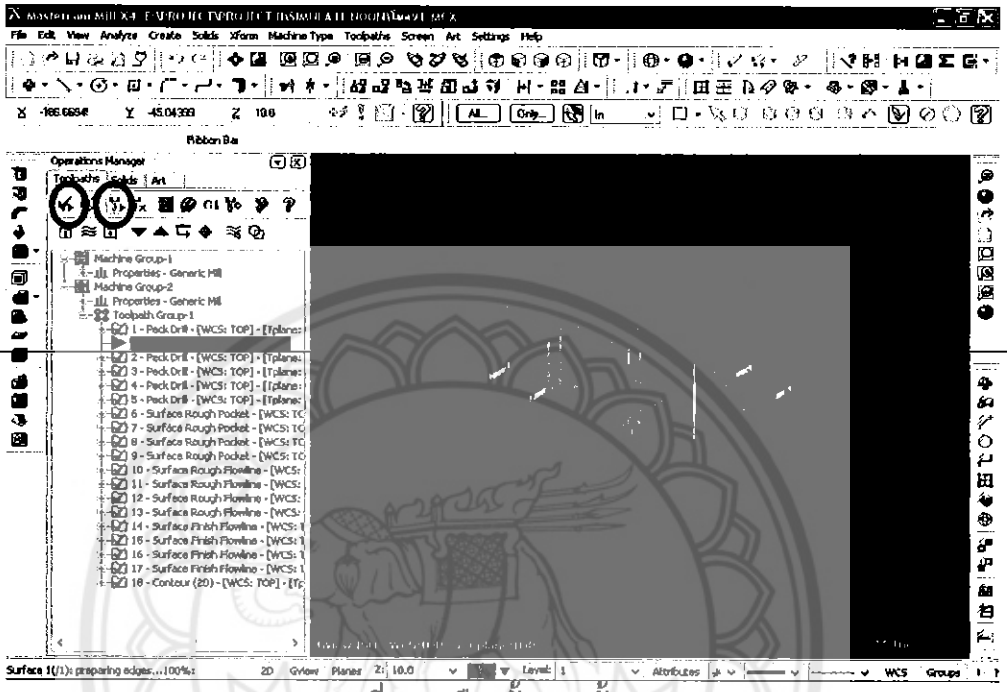
1.1.3 การเคลื่อนที่ของมีด



รูปที่ ค.3 การเคลื่อนที่ของมีด

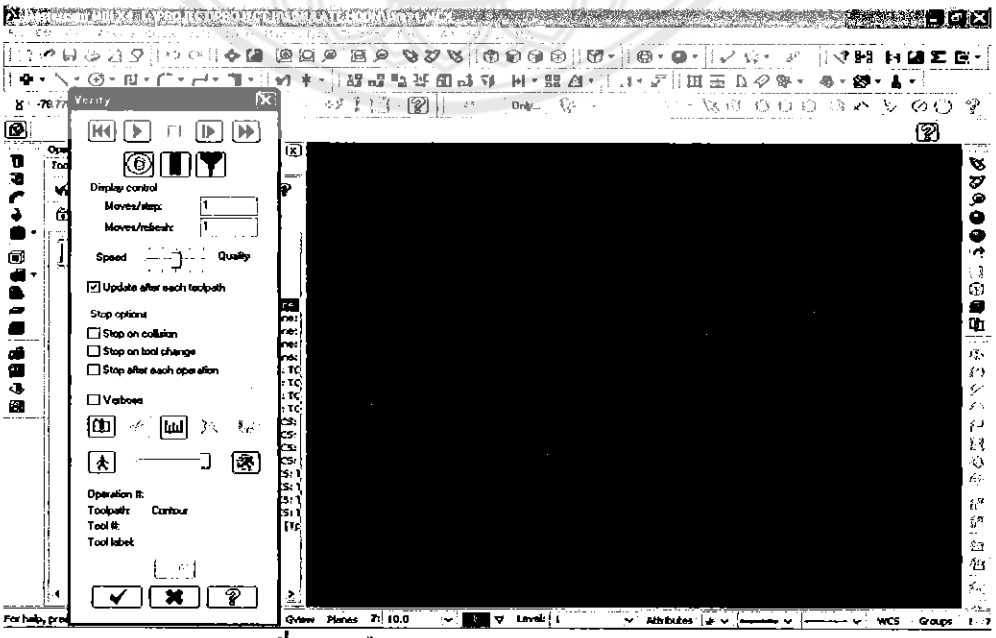
1.2 วิธี Verify Selected operations

1.2.1 คลิก Select all operations →คลิก Regenerate Select all operations



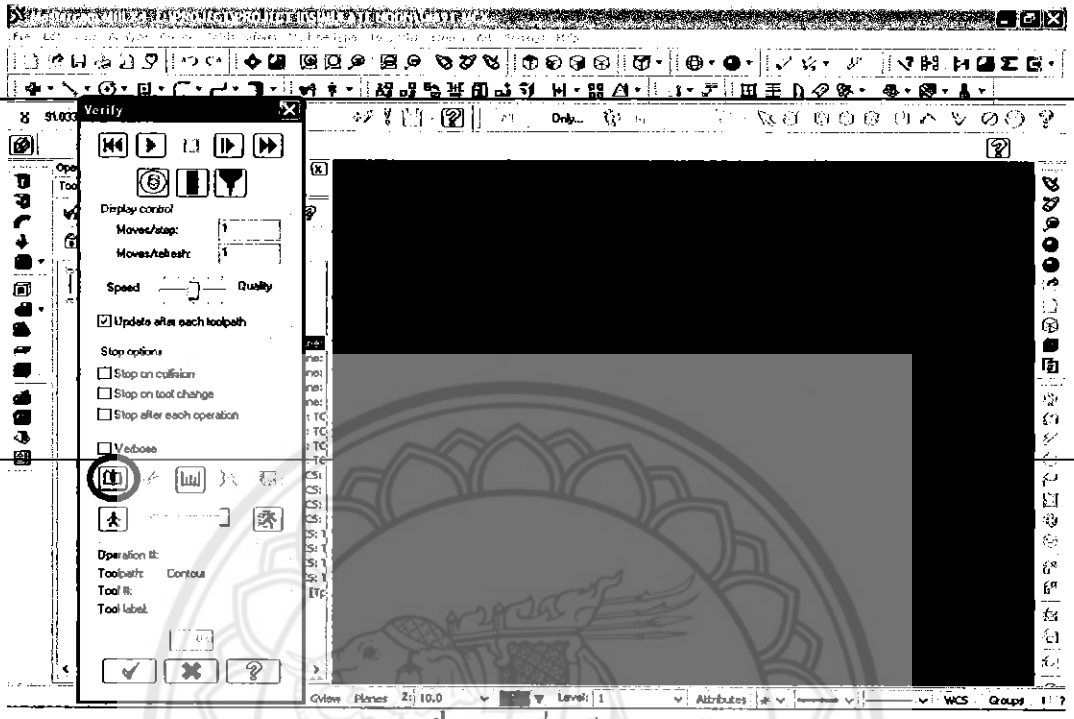
รูปที่ ค.4 เลือกขั้นตอนทั้งหมด

1.2.2 คลิก Verify Selected operations



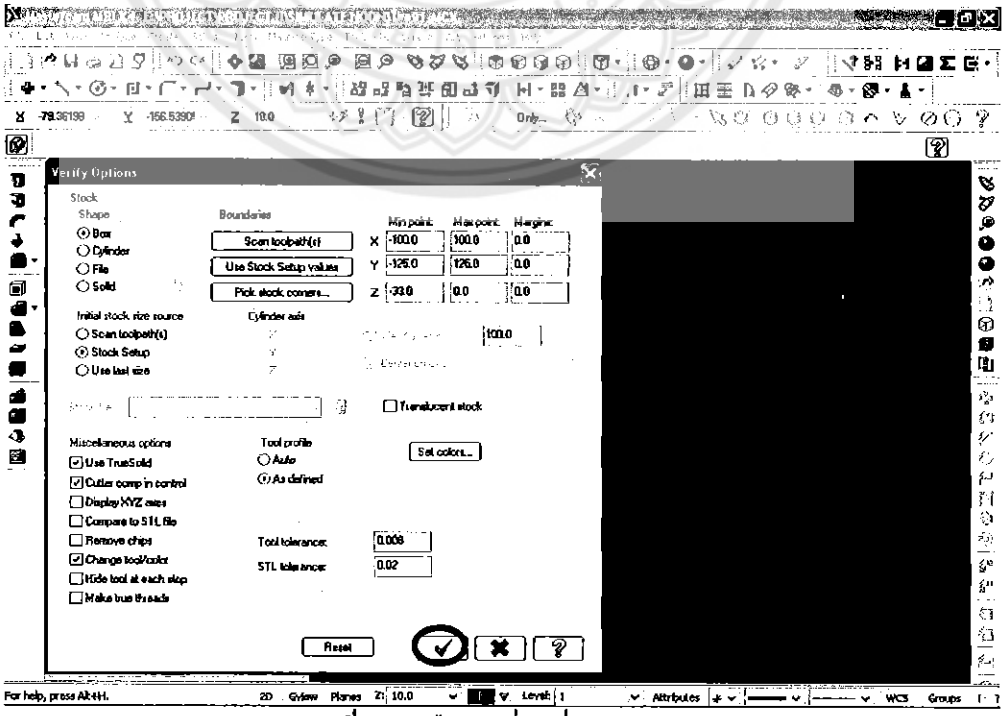
รูปที่ ค.5 เลือก Verify Selected operations

1.2.3 เปลี่ยนสีของดอกกัดเพื่อให้ง่ายต่อการมองเห็นความแตกต่าง→ Option



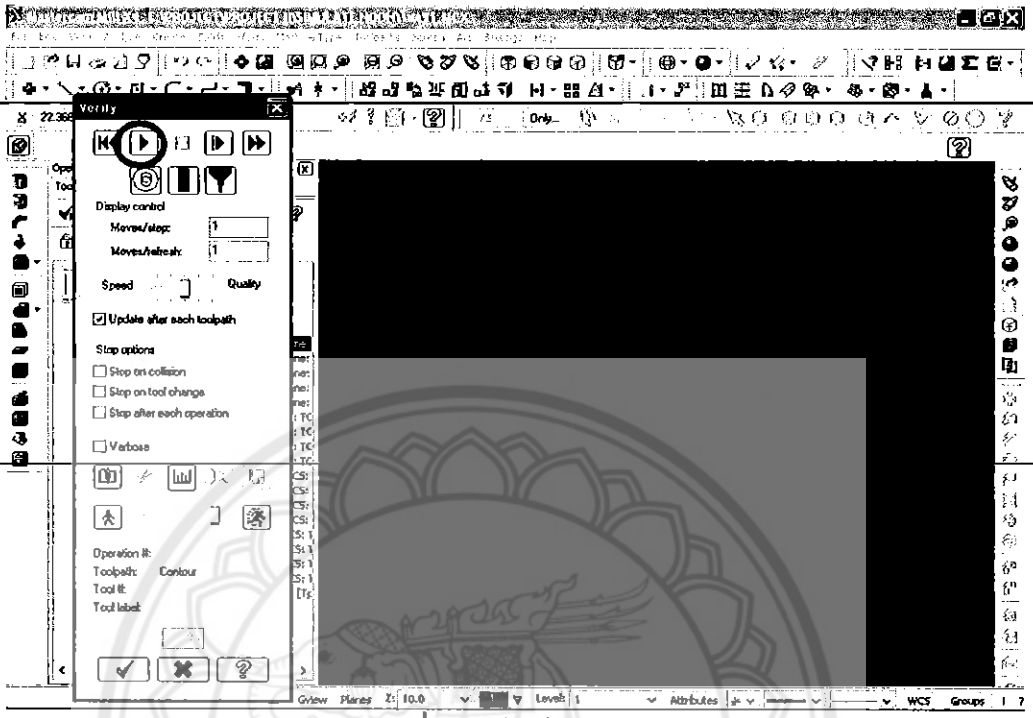
รูปที่ ค.6 เปลี่ยนสีของดอกกัด

1.2.4 Change tool/Color →



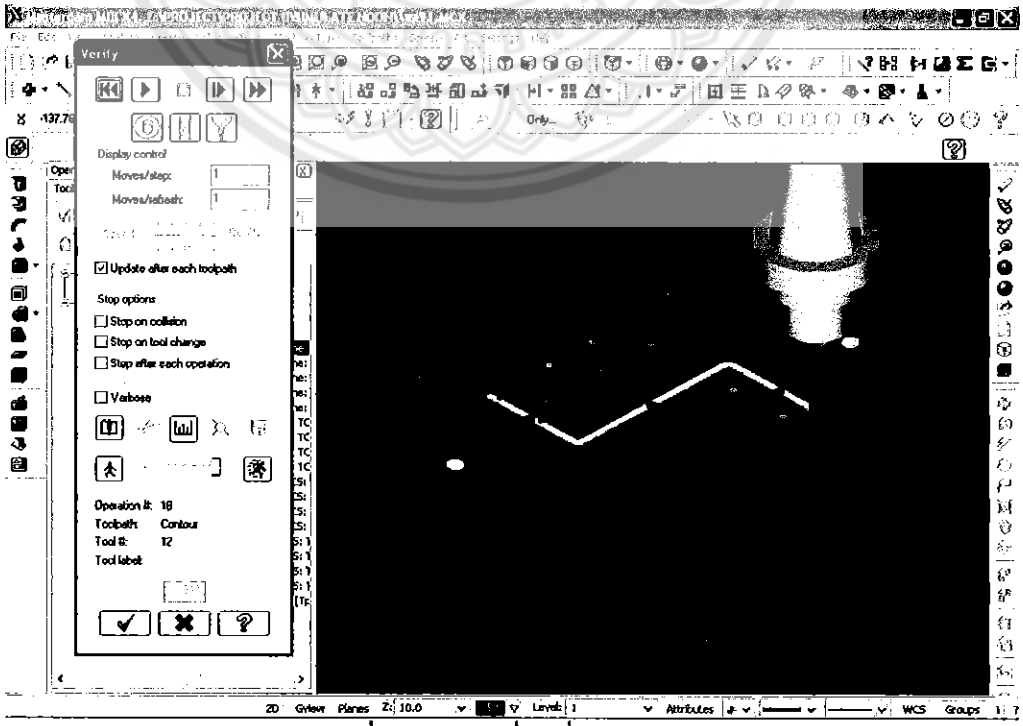
รูปที่ ค.7 เลือกเปลี่ยนสีของดอกกัด

1.2.5 เลือก Simulate tool and holder →



รูปที่ ค.8 เลือกโชว์มีดกัด

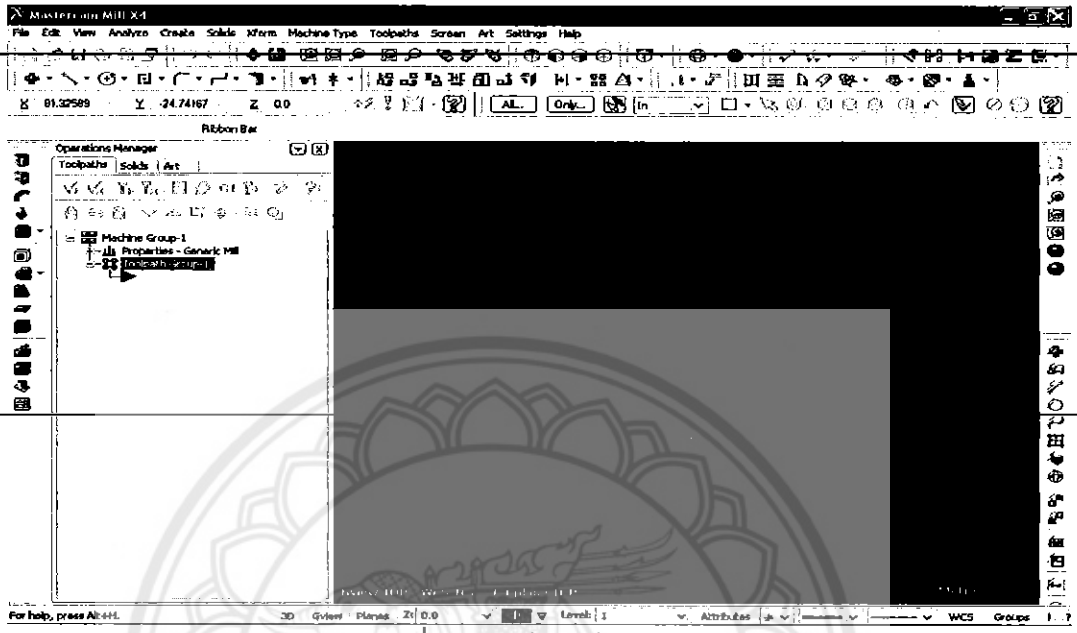
1.2.6 การเคลื่อนที่ของดอกกัด



รูปที่ ค.9 การเคลื่อนที่ของดอกกัด

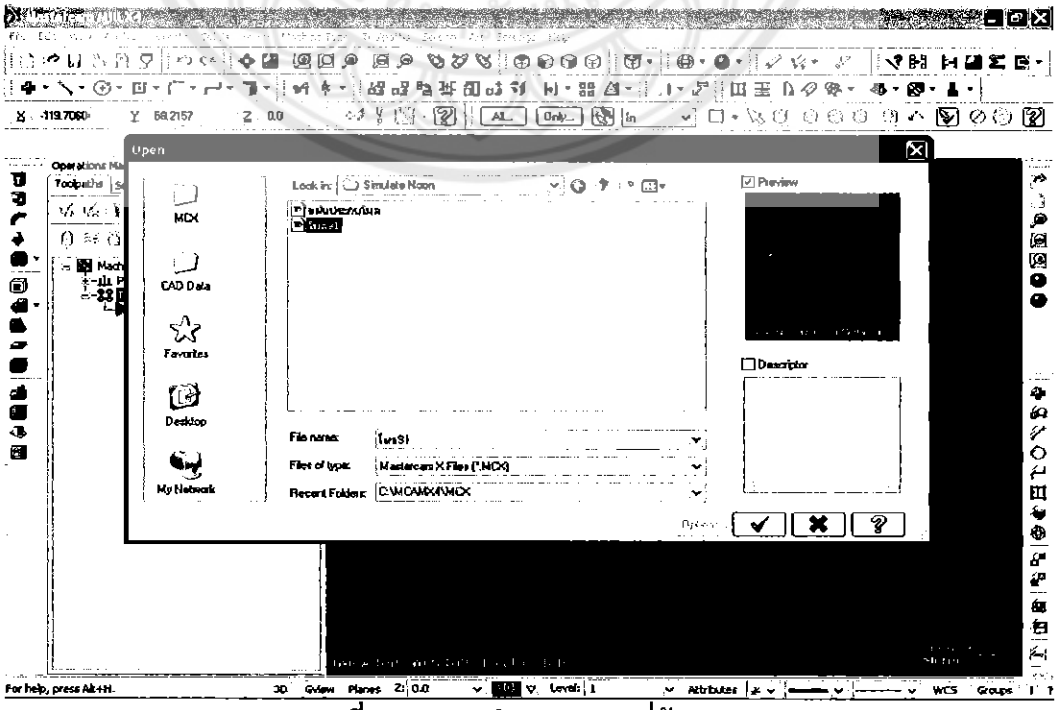
2. วิธีการ Generate Code CNC (NC-Code)

2.1 เปิดโปรแกรม Mastercam



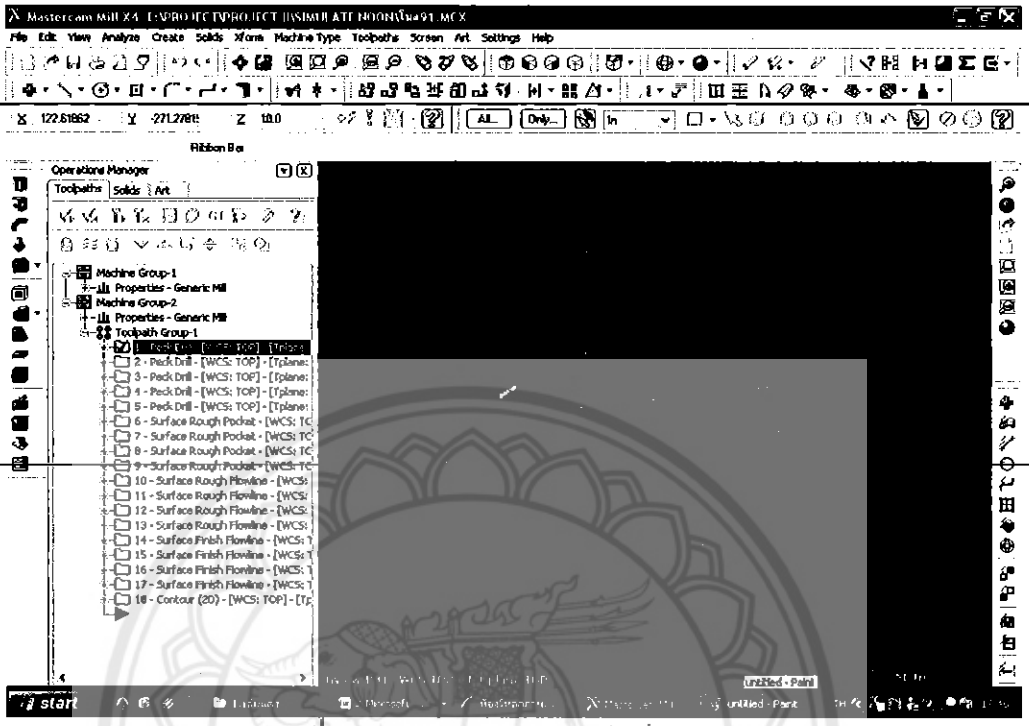
รูปที่ ค.10 หน้าต่างโปรแกรม

2.2 เลือก File ไปที่ Open ไปที่ Folder ที่เก็บงานแล้วเลือก File ที่ต้องการแล้วจึงคลิก



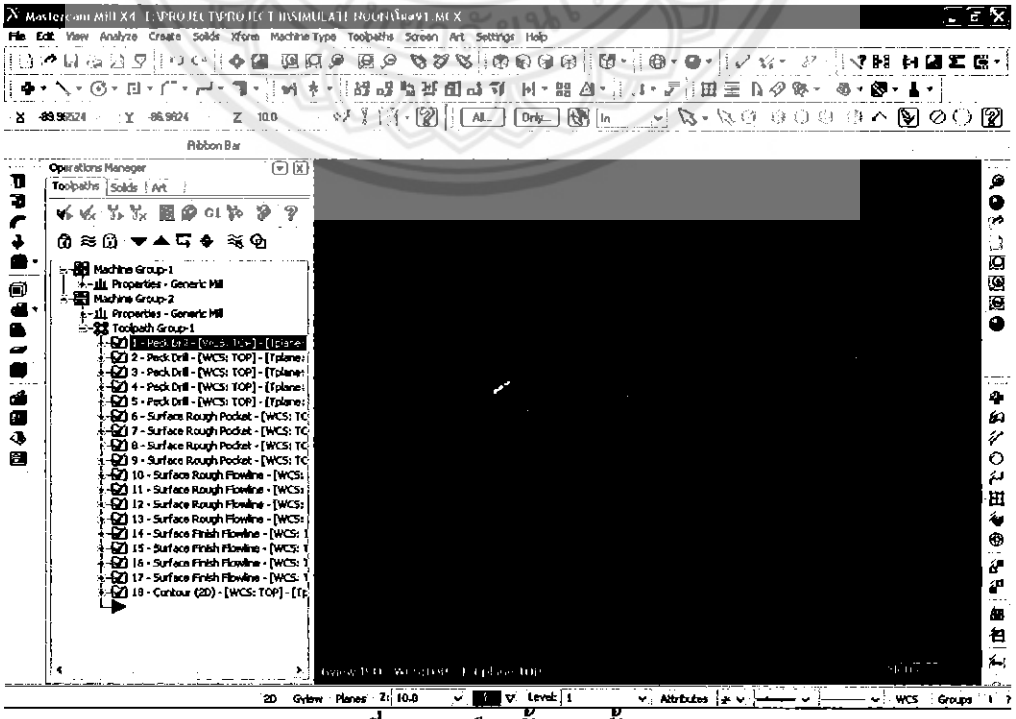
รูปที่ ค.11 การเปิด File งานที่ต้องการ

2.3 คลิก Outlined Shaded แล้วเลือก Zoom Selected



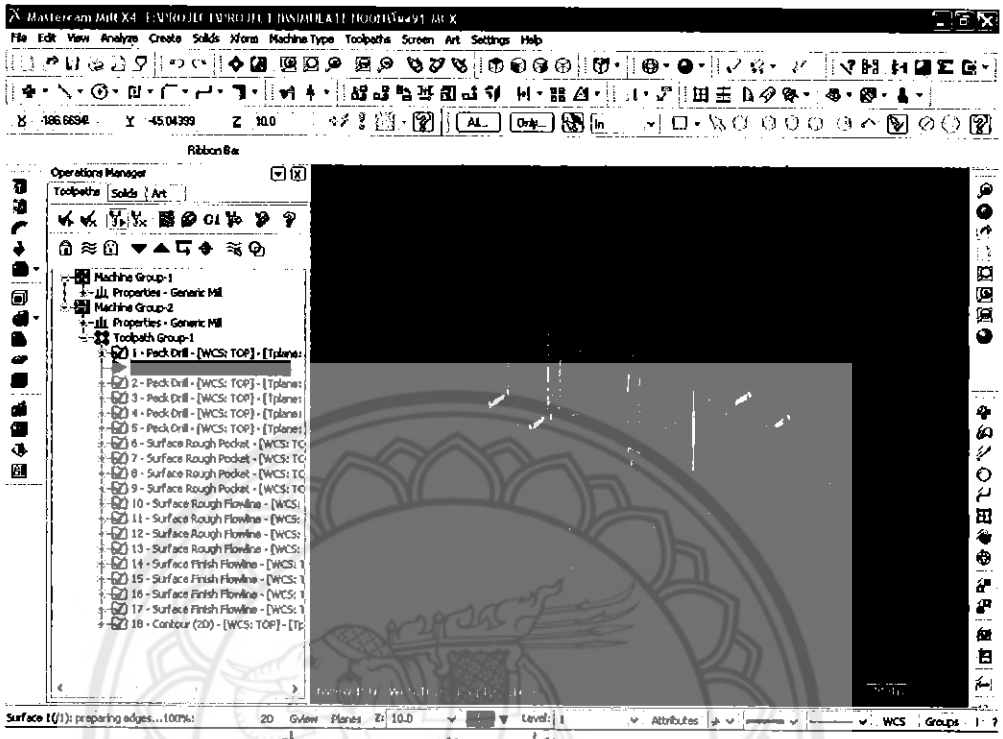
รูปที่ ค.12 การขยายงานและทำเป็นสามมิติ

2.4 คลิก Select all operations



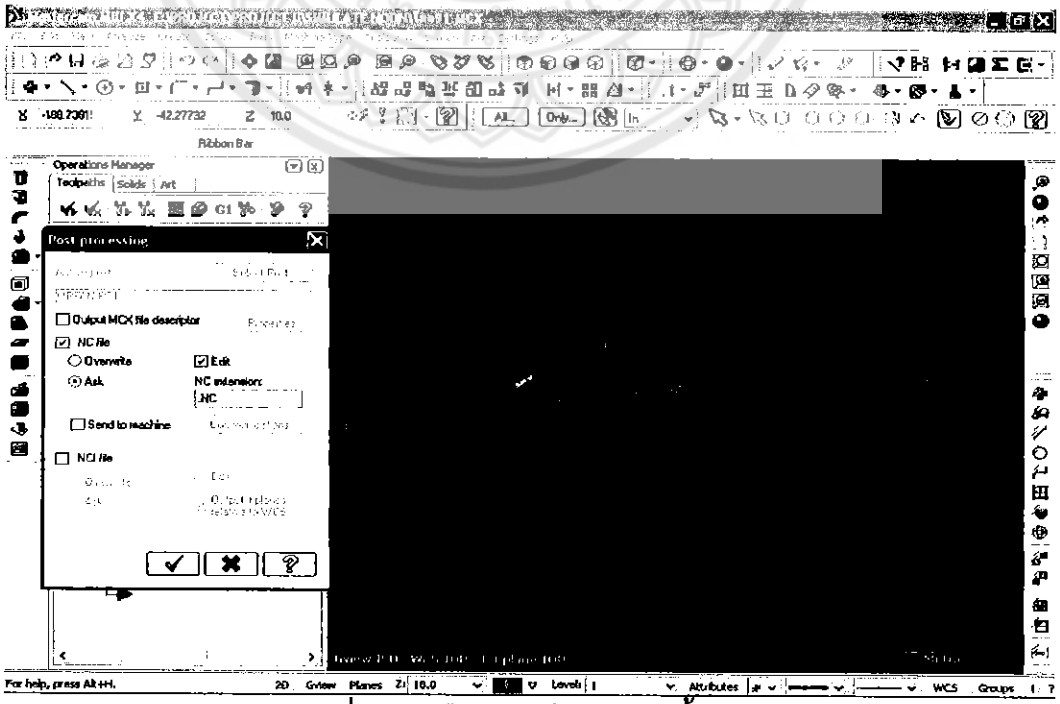
รูปที่ ค.13 เลือกขั้นตอนทั้งหมด

2.5 คลิก Regenerate Select all operations



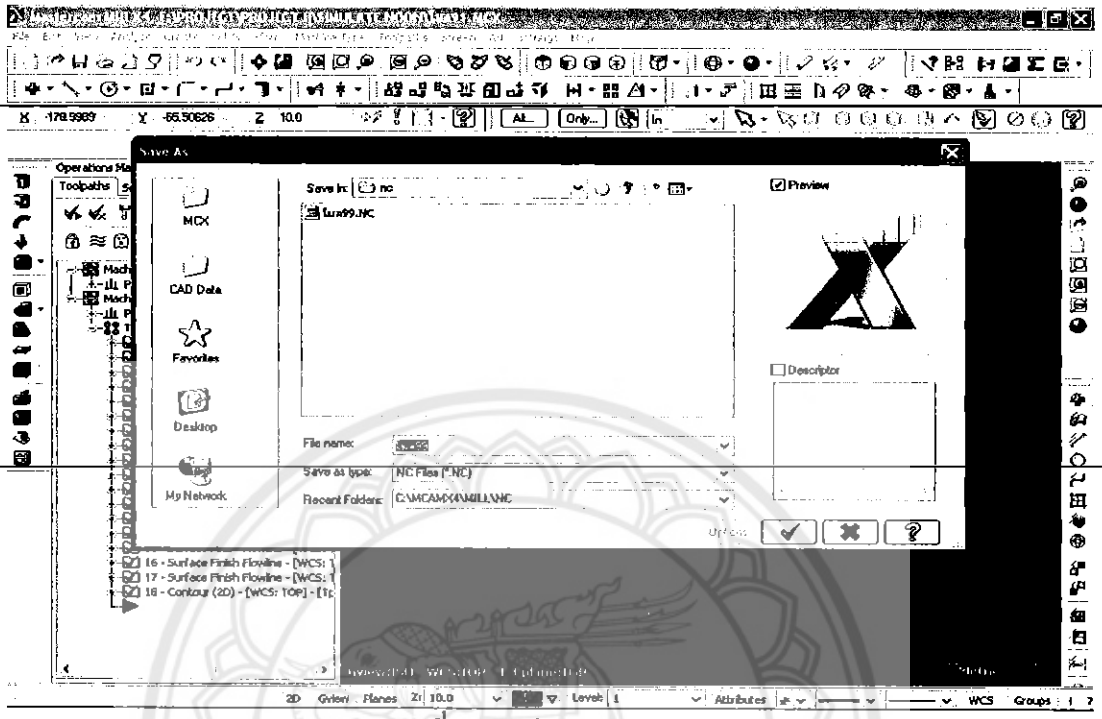
รูปที่ ค.14 แสดงเส้นทางที่ต้องการกัดตามแบบ

2.6 คลิก Post Select operations แล้วจึงคลิก



รูปที่ ค.15 เลือกการสร้าง Code ทั้งหมด

2.7 Save File ของ NC-Code แล้วจึงคลิก ☑



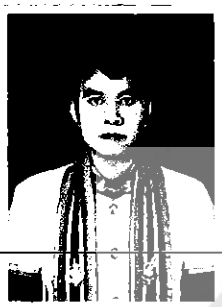
รูปที่ ค.16 ทำการ Save File

2.8 NC- Code ที่ได้จากการ Generate Code

```
%
O0000 (ใบ99)
(DATE=DD-MM-YY - 08-06-11 TIME=HH:MM - 19:03)
(MCX FILE - E:\PROJECT\PROJECT II\SIMULATE NOON\ใบ91.MCX)
(NC FILE - C:\MCAMX4\MILL\NC\ใบ99.NC)
(MATERIAL - ALUMINUM MM - 2024)
( T12 | | H12 )
( T1 | | H1 )
( T3 | | H3 )
( T5 | | H5 )
( T7 | | H7 )
( T9 | | H9 | XY STOCK TO LEAVE - .1 | Z STOCK TO LEAVE - 0. )
( T10 | | H10 | XY STOCK TO LEAVE - .05 | Z STOCK TO LEAVE - 0. )
( T11 | | H11 )
N100 G21
N102 G0 G17 G40 G49 G80 G90
N104 T12 M6
N106 G0 G90 G54 X29.5 Y109.5 A0. S2000 M3
N108 G43 H12 Z2. M8
N110 G99 G83 Z-3. R2. Q1. F1000.
N112 X-70. Y-84.5
N114 Y84.5
N116 X70.
N118 Y-84.5
N120 X0. Y0.
N122 Z-35. Y-53.
N124 X35. Y53.
N126 X-29.5 Y-109.5
N128 G80
N130 M5
N132 G91 G28 Z0. M9
N134 A0.
N136 M01
```

รูปที่ ค.17 ตัวอย่าง NC- Code ที่ได้จากโปรแกรม

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน



ชื่อ นายวัชรพงศ์ พัวศรี

ภูมิลำเนา 5/21 หมู่ 9 ต.บึงพระ อ.เมือง จ. พิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาพิษณุโลกพิทยาคม จังหวัดพิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: tau-.-hu@hotmail.com

ชื่อ นายอาทิตย์ คำวัง

ภูมิลำเนา 10 หมู่ 3 ต.งิม อ.ปง จ.พะเยา 56140

ประวัติการศึกษา

- จบระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคพะเยา จังหวัดพะเยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: noon_i_e@hotmail.com