สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ

นายชวัญชัย โพธิ์คำ
นายฐิติพงศ์ อิงครัตน์
นายอารัช สันบูกา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62843
วัน,เดือน,ปี 23 ส.ค. 2549

b 11632419
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COINING PRESSWORK

MR. KWANCHAI PHOCOME
MR. THITIPHONG ENGKARATH
MR. ARRAT SANBUGA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญา

หัวข้อปริญญานิพนธ์ แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ

COINING PRESSWORK

นักศึกษา

นายขวัญชัย	โพธิ์คำ	รหัสประจำตัว	46015699
นายฐิติพงศ์	อิงครัตน์	รหัสประจำตัว	46015705
นายอารัช	สันบูกา	รหัสประจำตัว	46015742

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(อาจารย์พลชัย โชติปรายนกุล)

(ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ
นักศึกษา	นายขวัญชัย โพธิ์คำ
	นายฐิติพงศ์ อิงครัตน์
	นายอารัช สันบูกา
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อาจารย์พลชัย โชติปรายนกุล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เกี่ยวข้องกับการออกแบบ และการสร้างแม่พิมพ์คัดและปั๊มเหรียญ ซึ่งในการโครงงานปั๊มเหรียญนี้จะใช้วัสดุขึ้นรูปที่เป็นอะลูมิเนียมแผ่นตัดเป็นแถบกว้าง 25 มม. การทำงานจะแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนหลักๆ คือขั้นตอนที่หนึ่งคือทำการตัดปั๊มเจาะแถบอลูมิเนียมให้เป็นเหรียญวงกลม และส่วนการทำงานครั้งที่สองคือการกดขึ้นรูปเหรียญเปล่าให้เป็นลายเหรียญตามแบบที่ต้องการ สำหรับการออกแบบพั้นช์และดายนั้นวัสดุที่ใช้ในโครงงานนั้นเป็นเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น DC 53 ซึ่งเหมาะสำหรับนำมาทำแม่พิมพ์ต่างๆ การทำไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะเป็นการวิเคราะห์โครงสร้างอลูมิเนียมที่ใช้ในการขึ้นรูปโดยหาการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ความเค้น ความเครียด จากการทำการตัดและปั๊มขึ้นรูป โดยการวิเคราะห์นั้นจะเป็นการวิเคราะห์ที่หน้าตัดของชิ้นงานเท่านั้นโดยใช้โปรแกรมที่ใช้สามารถวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สองมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Coining Presswork
Student	Mr.Kwanchai Phocome
	Mr.Thitiphong Engkarath
	Mr.Arrat Sanbuga
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2005
Thesis Advisor	Mr.Pholchai Chotiprayanakul

ABSTRACT

The objective of this thesis is to study and design a Punch Die and Coining Presswork. This project used aluminium strips as raw material and it can be devided into two main steps. For the first step is a cutting process that make coins. After cutting coin , putting a coin in to a pressing die and stramping it to make a convex mark on the coin. Punch and Die raw material used tool steel DC53 which appropriates for cold work.

Finally , finite-element analysis was used for analyzing stress and coin's shape deformation during the procress.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุกคนที่มีส่วนเกี่ยวข้องส่งผลให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

อาจารย์พลชัย โชติปรายนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุก ๆ ด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ อาจารย์ที่คอยให้คำปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุก ๆ ด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมทั้งความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุก ๆ ด้านตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือและความเอาใจใส่ในทุก ๆ ด้านตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและเพื่อนทุกคนสำหรับความช่วยเหลือจนทำให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วง คอยเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

นายขวัญชัย โพธิ์คำ
นายฐิติพงศ์ อิงครัตน์
นายอารัช สันบูกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 1

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการตัดเฉือน 3

2.2 ระยะเคลียแร้นซ์ 4

2.3 มาตรฐานระยะเคลียนแร้นซ์ของวัสดุชนิดต่างๆคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนา 5

2.4 สภาพของเครียแร้นซ์ 5

2.5 การกำหนดขนาดของพั้นช์และดาย 7

2.6 การคำนวณหาแรงในการตัด 7

2.7 การลดแรงในการตัด 9

2.8 การออกแบบคมตัดของพั้นช์ 11

2.9 แรงกดบนชิ้นงาน 12

ทฤษฎีของแม่พิมพ์ขึ้นรูป

2.10 ประเภทของการดีขึ้นรูป 13

3.10.1 แบบค้อน 13

3.10.2 แบบกดดีขึ้นรูปและแบบเครื่องกดดีขึ้นรูป 13

2.13 อุณหภูมิที่ใช้ในการดีขึ้นรูป 13

2.12 กระบวนการในการดีขึ้นรูป 14

3.10.3 การดีขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เปิด 14

3.10.4 การดีขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ปิด 15

2.13 ประเภทของแม่พิมพ์ 15

2.13.1 แม่พิมพ์แบบ Single Impression 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2 แม่พิมพ์แบบ Multi Impression 15
2.14 เครื่องตีขึ้นรูปแบบกด 16
2.15 การออกแบบแม่พิมพ์ตีขึ้นรูป 16
2.15.1 การออกแบบการไหลตัวของวัสดุและผนังของแม่พิมพ์ 17
2.15.2 การออกแบบรายละเอียดของขนาด 17
2.15.3 เครื่องมือสำหรับแม่พิมพ์ปิด 17
2.16 รอยตำหนิที่มักเกิดขึ้นในกระบวนการตีขึ้นรูป 20
2.17 ทฤษฎีวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 21
2.17.1 การแบ่งโครงสร้างเป็นเอลิเมนต์ย่อยและการเลือกชนิดของเอลิเมนต์ 21
2.17.2 การเลือกการฟังก์ชั่นการกระจัด 21
2.17.3 การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด/การกระจัดความเค้น/ความเครียด 22
2.17.4 การหาสติฟเนสเมทริกซ์และสมการของเอลิเมนต์ 22
2.17.5 การหาสมการรวมของระบบและการกำหนดเงื่อนไข 22
2.17.6 การหาการกระจัดของระบบ 23
2.17.7 การหาค่าความเครียดและความเค้น 23
2.18 การแบ่งโครงสร้างและการแบ่งส่วนเอลิเมนต์ 23
2.19 ฟังก์ชั่นการกระจัด 23
2.20 สมการอัตราความเครียด 23
2.21 หลักของอัตรางานเสมือน 23
2.22 สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ 24
2.23 สมการการนำ 24
2.24 โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างง่าย 24
2.24.1 องค์ประกอบความรู้ที่จำเป็น 25
2.24.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ 26
2.24.3 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟแวร์ 27
2.24.4 สมการเชิงอนุพันธ์ 28
2.24.5 สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ 30

บทที่ 3 แผนการดำเนินงานและการออกแบบ

3.1 แผนการดำเนินงาน 31
3.2 การออกแบบ 35
3.2.1 แม่พิมพ์ตัด 35
3.2.2 แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปเหรียญ 35
3.3 รายละเอียดการทำงาน 36
3.3.1 การจัดสร้างแม่พิมพ์ตัด 36
3.3.2 การจัดสร้างแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปเหรียญ 37
3.4 ทำการวิเคราะห์โครสร้างของโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์อย่างง่าย 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สรุปผลการดำเนินงาน....37
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน
4.1 ผลการดำเนินงานการสร้างแม่พิมพ์....38
4.1.1 ชุดแม่พิมพ์ตัด....38
4.1.2 ชุดแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป....40
4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างของเหรียญอลูมิเนียม....43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง
5.1 สรุปผลการทดลอง....45
5.2 สรุปปัญหาจากการทดลอง....45
5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง....46
5.4 ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำโครงงาน....46
บรรณานุกรม....47
ภาคผนวก ก
ภาคผนวก ข
ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

2.1 การตัด....3
2.2 ลำดับขั้นตอนของการตัดโลหะ....4
2.3 ช่องห่างระหว่างพั้นช์กับดาย....4
2.4 สภาพของรอยตัดที่เคลียแร้นซ์ต่างกัน....6
2.5 สภาพของสลักที่ได้จากการเจาะของพั้นช์กับดายที่เยื้องศูนย์....6
2.6 การกำหนดขนาดของพั้นช์และดายตามประเภทของการใช้งาน....7
2.7 การลดแรงตัด....9
2.8 การแต่งคมตัดของพั้นช์....11
2.9 การแต่งคมตัดของดาย....11
2.10 Stripping force....12
2.11 Crank type mechanical....16
2.12 แสดงพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานและวัตถุดิบ....17
2.13 แสดงความแตกต่างของแม่พิมพ์ชนิดต่าง ๆ....18
2.14 แสดงส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์....19
2.15 แสดงวิธีกำหนดตำแหน่งของ Punch และ Die....19
2.16 แสดงจุดที่สึกหรอของ Punch และ Die....20
2.17 โดเมนและเงื่อนไขขอบเขตของแผ่นระนาบ....29
2.18 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบ 3 จุดต่อ....30
2.19 การเปลี่ยนแปลงแรงดึงตลอดขอบเขตไปสู่จุดต่อ....32
3.1 รูปแผนการดำเนินงาน....34
3.2 แบบแม่พิมพ์ตัด....35
3.3 แบบแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ....36
4.1 แชงค์เมื่อประกอบเข้ากับพั้นช์โฮลด์เดอร์....38
4.2 พั้นช์เมื่อประกอบเข้ากับพั้นช์เพลท....38
4.3 ดายเมื่อประกอบเข้ากับดายเพลท....39
4.4 ดายและดายเพลทเมื่อยึดเข้ากับดายโฮลด์เดอร์....39
4.5 ชุดแม่พิมพ์ตัด....39
4.6 ชิ้นงานอลูมิเนียมที่ตัดเสร็จแล้ว....40
4.7 ดายเซทสำเร็จรูป....40
4.8 ดายเพลท....40
4.9 ดายที่ใช้ในการทดลองบนขั้วอิเล็คโทรด....41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 เครื่องกัด EDM....41
4.11 เหรียญที่ได้จากการทดลองปั๊มเพียงหน้าเดียว....41
4.12 ลายของเหรียญทั้งสองหน้าบนทองแดงขั้วอิเล็กโทรด....42
4.13 ประกอบพั้นช์และคายเข้ากับแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ....42
4.14 เหรียญที่ทำการปั๊มทั้งสองหน้า....42
4.15 ความเค้นและความเครียดบนแผ่นแบล็งค์....43
4.16 ลายเหรียญที่ใช้ขึ้นรูป....43
4.17 (ก) ความเค้น , (ข) ความเครียด บนแผ่นแบล็งค์จากการกดลงมา 0.1 มิลลิเมตรตัดตามแนวแกน y....43
4.18 เวคเตอร์ทิศทางการเคลื่อนที่ของเอลิเมนต์ตัดตามแนวแกน y....44
4.19 ก)ความเค้น ข) ความเครียด บนแผ่นแบล็งค์จากการกดลงมาที่ระยะ 0.1 มิลลิเมตร ตัดตามแนวแกน x....44
4.20 เวคเตอร์ทิศทางการเคลื่อนที่ของเอลิเมนต์ ตัดตามแนวแกน x....44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ขนาดของเคลียแร้นซ์ (Clearance) ของโลหะชนิดต่างๆ.....5
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกลของโลหะชนิดต่างๆ.....8
ตารางที่ 2.3 เปอร์เซ็นต์ Penetration ของ Steel.....10
ตารางที่ 2.4 เปอร์เซ็นต์ Penetration ของ Steel แบ่งตามค่าของ Shearing strength.....10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันการผลิตชิ้นส่วนอะไหล่ยานยนต์และอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ส่วนใหญ่ใช้แม่พิมพ์ในการผลิตชิ้นงานไม่ว่าจะเป็นแม่พิมพ์โลหะหรือว่าแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก จึงได้มีการศึกษาเพื่อจัดทำเป็นโครงงานปริญญานิพนธ์แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญนี้ขึ้นมาศึกษาการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์รวมทั้งการเสียรูปของวัสดุชิ้นงานเนื่องจากแรงต่างๆ

ในสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มีการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตและวัสดุศาสตร์ในโครงงานนี้ได้รวบรวมเนื้อหาวิชาต่างๆเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งเป็นแนวทางแนวทางที่ใช้ในการทำโครงงานนี้ ทางผู้จัดทำโครงงานคิดว่าการทำแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญมีความเหมาะสมที่จะประยุกต์เนื้อหาวิชาต่างๆที่ได้เรียนมาออกให้เป็นรูปธรรม และเพิ่มทักษะและประสบการณ์ของคณะผู้จัดทำโครงงานนี้ด้วย

เนื่องจากการทำแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญนี้ประกอบไปด้วยการทำงานสองขั้นตอนใหญ่ๆ สองครั้งด้วยกันคือ การพิมพ์ตัด และการพิมพ์ขึ้นลายเหรียญ ซึ่งการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ทั้งสองได้มีการคำนวณเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เช่นการคำนวณแรงตัด แรงอัด ระยะเคลียร์แรนซ์ แรงสะท้อนจากการพิมพ์ขึ้นรูปเป็นต้น ค่าต่างๆๆเหล่านี้เป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะศึกษา ประกอบกับเครื่องจักรที่ใช้ทำการเพรสนั้นเป็นเครื่องจักรแบบแองเกิ้ลเพรสหรือแบบข้อเหวี่ยง เครื่องเพรสชนิดนี้จะอาศัยแรงกระแทกด้วยแรงลงบนชิ้นงานทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปทรงต่างๆ ตามต้องการ ซึ่งแรงกระแทกนี้เองอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ตัวแม่พิมพ์ได้ เช่นการแตกร้าวของแม่พิมพ์ การเกิดการเสียหายที่ตัวชิ้นงาน เกิดการเสียรูปทรงต่างๆซึ่งถ้าเรามีการศึกษาและสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดขึ้นเหล่านี้ได้ เราก็สามารถที่จะออกแบบตัวแม่พิมพ์ที่หลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ได้เช่นเดียวกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ ที่ใช้ตัดและปั๊มเหรียญอลูมิเนียม
2. เพื่อศึกษาการเลือกใช้วัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์ และวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปที่เหมาะสม
3. เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปที่ได้รับผลกระทบจากแรงตัดและแรงอัดของเครื่องเพรส

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ตัด, แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปอลูมิเนียม
2. ขนาดของเครื่องเพรสที่กำหนด 3 ตัน
3. ขนาดเหรียญอลูมิเนียมที่ใช้ในการขึ้นรูปนั้นมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการเลือกใช้วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ทั้งสองอย่างและการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมที่ใช้ในการขึ้นรูป
2. ได้รับความรู้เกี่ยวกับขั้นตอนการออกแบบละสร้างแม่พิมพ์
3. ได้รับความรู้เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ เครื่องจักรต่างๆที่เกี่ยวข้องในการสร้างแม่พิมพ์
4. สามารถวิเคราะห์และแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับตัวแม่พิมพ์และวัสดุขึ้นรูปได้

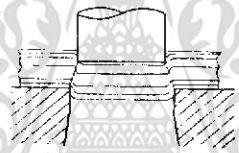
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการทำโครงงานปริญญานิพนธ์แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญนั้น ประกอบไปด้วยการทำงานสองขั้นตอนหลักๆ ด้วยกันคือขั้นตอนแรกการออกแบบแม่พิมพ์ตัดและสร้างจนตัดชิ้นงานออกมาเป็นเหรียญ ขั้นตอนที่สองคือออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ เพื่อปั๊มขึ้นลายเหรียญให้เป็นตราสถาบัน มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินงานโดยแบ่งตามแบบแม่พิมพ์ที่สร้าง

2.1 ทฤษฎีและกระบวนการตัดเฉือน (Shearing Process)

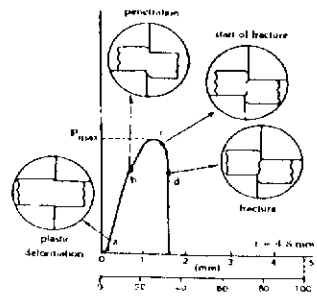
กระบวนการตัดเฉือน คือ การตัดโลหะออกจากกันโดยใช้คมตัดของพั้นช์ (punch) และ ดาย (die) กดโลหะจนเลยจุดวิกฤตของวัสดุนั้นๆ (ultimate strength) ซึ่งจะทำให้โลหะฉีกขาดออกจากกัน



รูปที่ 2.1 การตัด

ขั้นตอนในการตัดเริ่มจากการที่พั้นช์ (punch) กดลงบนโลหะและพาเนื้อโลหะเข้าไปในช่องว่างของดาย (die) จนเลยจุดดราก (elastic limit) ของโลหะ ช่วงนี้ทางผิวด้านล่างของโลหะจะเริ่มย้อยเข้าไปในดาย (die) และทางผิวด้านบนจะถูกพั้นช์(punch) กดลง เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นพั้นช์(punch) จะเจาะเข้าไปในเนื้อโลหะ โดยความลึกของส่วนที่ถูกกดทางผิวด้านบนจะเท่ากับส่วนที่กดลงในดาย(die) ทางผิวด้านล่าง เมื่อแรงกดเพิ่มขึ้นจนเลยจุดวิกฤต (ultimate strength) ของโลหะแล้วโลหะจะฉีกขาดออกจากกันรายละเอียดของขั้นตอนในการตัด(ดูรูปที่ 2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 ลำดับขั้นตอนของการตัดโลหะ

จากรูป a พั้นช์เริ่มกดลงบนเนื้อโลหะ

b พั้นช์เพิ่มแรงกดลงบนเนื้อโลหะ

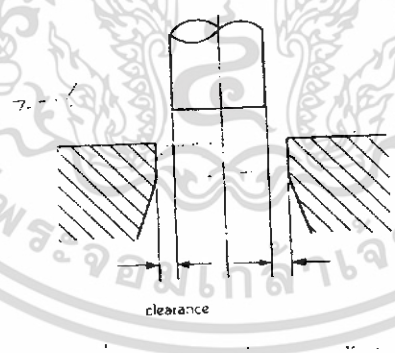
c โลหะเริ่มฉีกตัว

d การฉีกของโลหะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

การฉีกของโลหะนั้นจะดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับระยะเคลียแร้นซ์(Clearance) ระหว่างพั้นช์ (punch) กับดาย (die) ถ้าเคลียแร้นซ์ (clearance) มากไปหรือน้อยไป จะทำให้เพิ่มแรงที่มากระทำต่อพั้นช์ (punch) และดาย (die) ทำให้สึกเร็วนอกจากนั้นยังทำให้รอยฉีกขาดไม่เรียบอีกด้วย

2.2 ระยะช่องว่างดายหรือเคลียแร้นซ์ (Clearance)

ระยะเคลียแร้นซ์ คือ ช่องห่างระหว่างพั้นช์ (punch) กับดาย (die) ซึ่งจะบอกเป็นค่าผลต่างของรัศมีของพั้นช์ (punch) กับดาย (die)



รูปที่ 2.3 ช่องห่างระหว่างพั้นช์กับดาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 มาตรฐานระยะเคลียแร้นซ์ของวัสดุชนิดต่างๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความหนาของโลหะ

เคลียแร้นซ์(clearance)จะแตกต่างกันไปตามชนิดโลหะ,ความหนาและรูปร่างของชิ้นงานก็มีส่วนสำคัญในการกำหนดขนาดของเคลียแร้นซ์ (clearance) ด้วย โดยชิ้นงานมีความหนามากเท่าไร เคลียแร้นซ์ (clearance) ก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น

ตารางที่ 2.1 ขนาดของเคลียแร้นซ์(clearance) ของโลหะชนิดต่าง ๆ

CUTTING CLEARANCE PER SIDE PERCENTAGE OF STOCK THICKNESS		
MATERAIL	IRREGULAR COUNTER	ROUND
ALUMINIUM		
SOFT LESS THAN 3/64" THK	3%	2%
SOFT MORE THAN 3/64" THK	5%	3%
HARD	5-8%	4-6%
BRASS & STEEL		
SOFT	3%	2%
½ HARD	4%	3%
HARD	5-6%	4%
STEEL		
LOW CARBON SOFT	3%	2%
½ HARD	4%	2%
HARD	5%	3%
SILICON STEEL	4-5%	3%
STRAINLESS STEEL	5-8%	4-6%

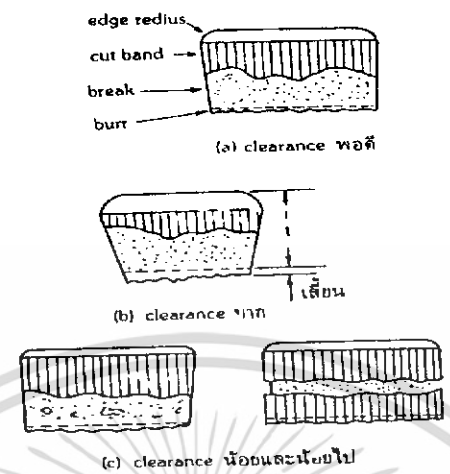
2.4 สภาพของเคลียแร้นซ์

เราจะทราบได้ว่าเคลียแร้นซ์ระหว่างพั้นซ์กับดายมีค่ามากไป น้อยไปหรือว่าเหมาะสมดีแล้ว โดยดูได้จากสภาพรอยตัดของชิ้นงาน ดังนี้

1. กรณีที่เคลียแร้นซ์พอดีหรือเหมาะสมนั้น รอยตัด (cut bend) จะมีความกว้างประมาณ 1/3 ของความหนาของโลหะและ burr จะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ
2. กรณีที่เคลียแร้นซ์มากเกินไป ที่รัศมีความโค้งของขอบ(edge radius)จะมีความโค้งมากรอยตัด(cut bend) จะแคบรอบฉีกจะไม่เป็นระเบียบ และมีเสี้ยน (burr)มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

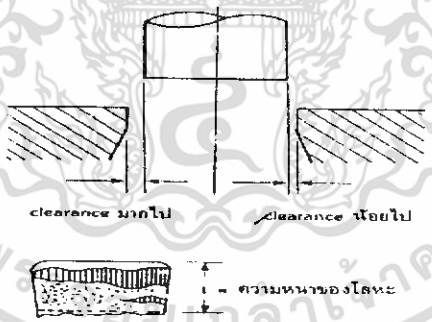
3. กรณีที่เคลียแร้นซ์น้อย และน้อยไปที่รอยตัด (cut bend) จะมีบริเวณกว้างและอาจจะมีมากกว่า 2 แห่ง



รูปที่ 2.4 สภาพของรอยตัดจากการตัดด้วยเคลียแร้นซ์ต่างกัน

ประโยชน์ที่ได้รับจากการตรวจดูสภาพของรอยตัดโดยดูจากรอยตัด (cut bend) และส่วนอื่นๆ ประกอบกันนี้ ทำให้เราสามารถทราบว่าตำแหน่งศูนย์กลางของพั้นช์ (punch) และดาย (die) นั้นอยู่ในแนวเดียวกันหรือไม่

ในกรณีที่พั้นช์ (punch) และดาย (die) เยื้องศูนย์กันแล้วพั้นช์ (punch)และดาย(die)จะได้รับแรงกดที่ไม่เท่ากันทุกจุดทำให้อายุการใช้งานของพั้นช์ (punch)และดาย(die)สั้นลง

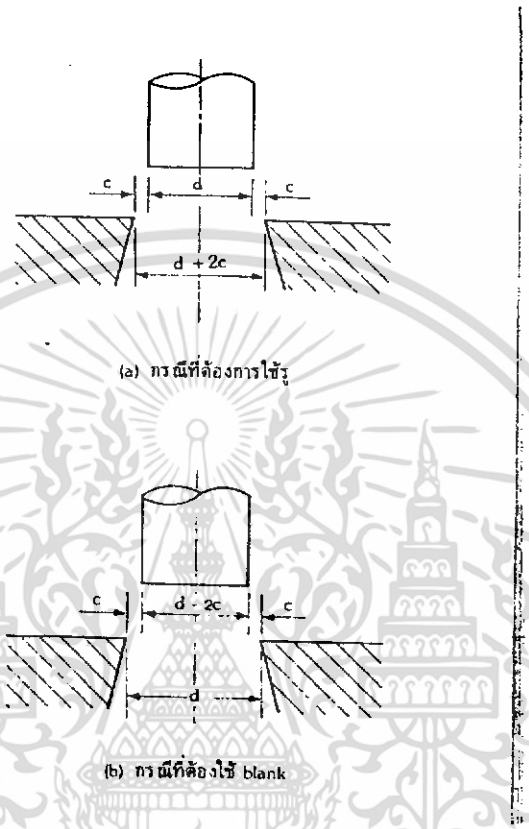


รูปที่ 2.5 สภาพของสลักที่ได้จากการเจาะของพั้นช์กับดายที่เยื้องศูนย์

2.5 การกำหนดขนาดของพั้นช์ (punch) และดาย (die)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการกำหนดขนาดของพั้นช์ (punch) และดาย (die) ว่าควรจะมีขนาดเท่าไหร่นั้น ขึ้นอยู่กับประเภทของชิ้นงานที่จะนำไปใช้ เช่น ถ้าต้องการใช้รู ก็กำหนดขนาดของพั้นช์ (punch) ให้เท่ากับขนาดของรู แล้วไปเพิ่มขนาดของดาย (die) ตามเคลียแร้นซ์ (clearance) ที่หาได้ (ดูรูปที่ 2.6(a)) ถ้าต้องการใช้แบล็งค์ (blank) ให้กำหนดขนาดของดาย (die) ตามขนาดของแบล็งค์ (blank) แล้วลดขนาดของพั้นช์ (punch) ลงตามเคลียแร้นซ์ (clearance) (ดูรูป-ที่ 2.6(b))



รูปที่ 2.6 การกำหนดขนาดของพั้นช์และดายตามประเภทของการใช้งาน

2.6 การคำนวณหาแรงตัด (Cutting Force)

สูตรการคำนวณหาแรงตัด

$$P_p = A\,\sigma_s\ (1/1000) \qquad (2.1)$$

เมื่อ P_p = แรงตัด (ตัดเฉือน)

A = พื้นที่ของส่วนที่ถูกตัด (ตารางมิลลิเมตร)

σ_s = ความต้านทานแรงเฉือน (shearing strength) (กิโลกรัม/มิลลิเมตร^2)

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = l \times t \quad (2.2)$$

เมื่อ l = ความยาวของส่วนที่ถูกตัด (มม.)

t = ความหนาของชิ้นงาน (มม.)

ในกรณีของการตัดรูกลม (ตัดเจาะ)

$$P_p = d\ \pi\ t\ \sigma_s\ (1/1000) \quad (2.3)$$

เมื่อ d = เส้นผ่าศูนย์กลางของรู (มม.)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกลของโลหะชนิดต่าง ๆ

MATERIAL	SHEAR STRENGTH (Kg/mm^2)		TENSILE STRENGTH (Kg/mm^2)		PENETRATION %
	SOFT	HARD	SOFT	HARD	
LEAD	2-3	-	2.5-4	-	50
TIN	3-4	-	4-5	-	40
ALUMINIUM	7-11	13-16	8-12	17-22	60-30
DURALUMIN	22	38	26	48	-
ZINC	12	20	15	25	50-25
COPPER	18-22	25-30	22-28	30-40	30-55
NICKEL(German) SILVER	28-36	45-56	35-45	55-70	-
SILVER	19	-	26	-	-
SPN 1 8	26 UP		26 UP		60-38
SPC 1 3	26 UP		26 UP		60-38
MILD STEEL,DEEP DRAWIN	30-35	-	32-28	-	60-38
SS 34	27-36		33-44		40-28
SS 41	33-42		41-52		40-28
STEEL 0.1%C	25	32	32	40	50-38
STEEL 0.2%C	32	40	40	50	40-28
STEEL 0.3%C	36	48	45	60	33-22

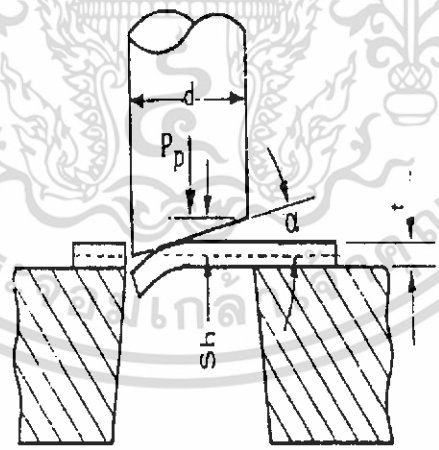
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกลของโลหะชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATERIAL	SHEAR STRENGTH (Kg/mm^2)		TENSILE STRENGTH (Kg/mm^2)		PENETRATION %
	SOFT	HARD	SOFT	HARD	
STEEL 0.4%C	45	56	56	72	27-17
STEEL 0.6%C	56	72	72	90	20-9
STEEL 0.8%C	72	90	90	110	15-5
STEEL 1.0%C	80	105	100	130	10-2
STAINLESS STEEL	52	56	65-70	-	-
NICKEL	25	-	44-50	57-63	55
MICA t = 0.5 mm	8		-		-
MICA t = 2 mm	5		-		-
FIBRE	9-18		-		-

2.7 การลดแรงในการตัด (Reduction of Shearing Force)

ในการตัดทั่วๆ ไปนั้นผิวหน้าของคมตัดของพั้นช์(punch) และดาย (die) จะเป็นแบบเรียบหรือขนานกัน ซึ่งแบบนี้จะทำให้ใช้แรงในการตัดมาก เพราะการตัดเกิดขึ้นพร้อมกันทุกจุด เราสามารถที่จะลดแรงในการตัดได้ การออกแบบคมตัดของพั้นช์ (punch) และดาย (die) ให้มีความเอียงลาดเพื่อที่จะทำให้เกิดขึ้นไม่พร้อมกัน ซึ่งแรงที่ใช้ตัดก็จะลดลงไปด้วย



รูปที่ 2.7 การลดแรงตัด

ตารางที่ 2.3 เปอร์เซ็นต์ penetration ของ steel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATERIAL	IN.	1	3/4	5/8	1/2	3/8	5/16	1/4	3/16	1/8	3/32	1/16	1/32
THICKNESS	MM.	25.4	19.1	15.9	12.7	9.5	7.9	6.4	4.8	3.2	2.4	1.6	0.8
PENETRATION%		25	31	35	37	44	47	50	56	62	67	75	87

ตาราง 2.4 เปอร์เซ็นต์ penetration ของ steel แบ่งตามค่าของ shearing strength

MATERIAL	THICKNESS (mm)			
	UPTO 1	1-2	2-4	4 AND OVER
STEEL				
(σ_s = 25-35 kg/mm^2)	75-70	70-65	65-55	50-40
(σ_s = 35-50 kg/mm^2)	65-60	60-55	55-48	45-35
(σ_s = 50-70 kg/mm^2)	50-47	47-45	44-38	35-25
ALUMINUM ,	80-75	75-70	70-60	65-50
COPPER				

σ_s = shearing strength

สูตร

$$P_{PS} = P_P (tf_P / Sh) \quad (2.4)$$

เมื่อ P_{PS} = แรงตัดที่เกิดจากการลดมุมเฉือน (ตัน)

t = ความหนาของชิ้นงาน (มม.)

f_P = ดูจากตารางที่

f_P = ระยะที่พั้นช์ (punce) กดเข้าไปในเนื้อโลหะก่อนที่โลหะจะขาดออกจากกัน

Sh = ระยะความเอียงของคมตัด (มม.)

ในกรณีของการตัดรูกลม

$$P_{PS} = \pi t^2 \sigma_s \cot \alpha (1/ 1000) \quad (2.5)$$

$$\tan \alpha = Sh / d \quad (2.6)$$

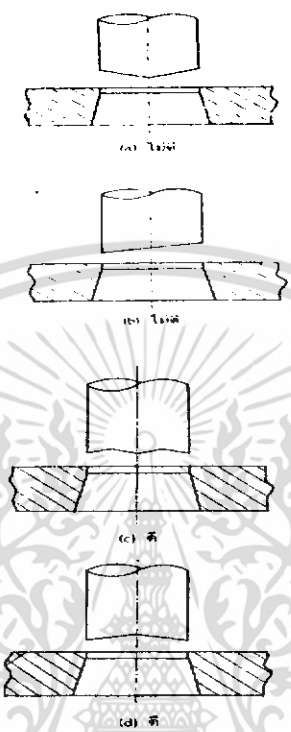
เมื่อ α = มุมเฉือน

2.8 การออกแบบคมตัดของพั้นช์(punch)และดาย(die)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

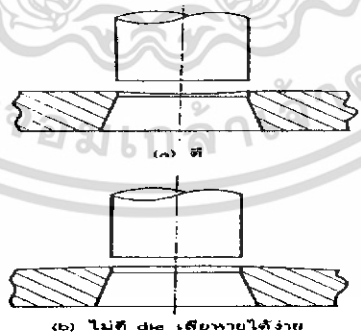
ในการที่จะแต่งคมตัดของพั้นช์ (punch) หรือดาย (die) เพื่อลดแรงในการตัดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงานที่จะนำไปใช้ด้วย คือ ถ้าต้องการนำรูไปใช้ก็ให้แต่งคมตัดของพั้นช์ (punch) แต่ถ้าต้องการเอาแบล็งค์ไปใช้งานให้แต่งคมตัดของดาย (die)

ลักษณะการแต่งคมคมตัดของพั้นช์เพื่อเอารูไปใช้



รูปที่ 2.8 การแต่งคมตัดของพั้นช์

ลักษณะการแต่งคมตัดของดายเพื่อเอา blank ไปใช้

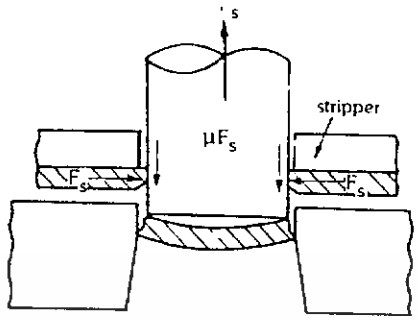


รูปที่ 2.9 การแต่งคมตัดของดาย

2.9 แรงกดแผ่นชิ้นงาน (Stripping Force)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ แรงที่ใช้ดันชิ้นงานให้หลุดออกจากพั้นช์ (punce) ตามปรกติจะมีค่าตั้งแต่ 2.5 – 20 % ของแรงตัดหรือแรงเจาะ



รูปที่ 2.10 stripping force

สูตร

$$Ps = 2.5\ lt\ (1/1000) \qquad (2.7)$$

เมื่อ Ps = แรงกดแผ่นชิ้นงาน (ตัน)

l = ความยาวของการตัด (มม.)

t = ความหนาของชิ้นงาน(มม.)

ค่าที่ได้ตามสูตรข้างบนเป็นค่าที่ได้โดยประมาณเท่านั้น เพราะค่าของแรงกดแผ่นชิ้นงานนั้นยังขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรอีกหลายค่าซึ่งไม่สามารถประเมินค่าได้ ตัวแปรเหล่านี้ได้แก่

1. ความหยาบของมุมและรอยฉีกขาด
2. อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างของแบลึง8N
3. สภาพคมตัดของพั้นช์และดาย
4. ความห่างของคมตัด
5. การหล่อลื่นของพั้นช์
6. ระยะห่างระหว่างรู หรือระยะห่างจากรูถึงขอบชิ้นงาน
7. สภาพผิวหน้าของพั้นช์เช่น การแต่งคมตัดเพื่อลดแรงตัดหรือไม่
8. จำนวนของรู
9. เนื้อที่ที่เหลือบนชิ้นงานหลังจากการเจาะรูหรือตัดแบลึงค์ออกไปแล้ว
10. ชนิดของโลหะ

2.10 ทฤษฎีของแม่พิมพ์ขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของการตีขึ้นรูป หมายถึง ชิ้นงานที่เป็นโลหะหรือโลหะผสมเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกตามรูปร่างที่ต้องการด้วยแรงกด และแรงกดนี้ก็จะขึ้นอยู่กับวิธีการประยุกต์การใช้แรงของเครื่องมือตีขึ้นรูปที่ใช้ ซึ่งอาจจะแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆคือ

2.10.1 แบบค้อน (hammer)

ความเค้นเนื่องจากแรงกระแทกของค้อนจะเกิดบนวัสดุโดยการกระทำนั้นจะ เกิดในแนวตั้ง

2.10.2 แบบกดตีขึ้นรูปและแบบเครื่องกดตีขึ้นรูป (Forging Presses and Forging Machines)

เป็นเครื่องมือ ที่ใช้แรงกด โดยกดอย่างต่อเนื่องจนวัสดุถูกกดลงไปทีละน้อยและถูกบีบให้เป็นรูปร่างขึ้นแบบกดตีขึ้นรูป (Forging Press) จะดำเนินงานในแนวตั้งเหมือนกับค้อนส่วนแบบเครื่องกดตีขึ้นรูป (Forging Machines) หรือการตอกย้ำ (Up-setters) จะดำเนินงานในแนวขนานกับแนวนอน

งานตีขึ้นรูปอาจจะผลิตในลักษณะเป็นแม่พิมพ์เปิดหรือแม่พิมพ์ปิดอย่างใดอย่างหนึ่ง แม่พิมพ์จะถูกทำมาเป็นคู่ๆในแม่พิมพ์ตีแบบเปิด วัสดุจะถูกตีหรือกดระหว่างผิวหน้าทั้งสองของแม่พิมพ์และแรงกดจะดำเนินต่อไปเฉพาะแห่งบนชิ้นส่วนที่แตกต่างกันของวัตถุดิบ ในกระบวนการตีขึ้นรูปของแม่พิมพ์แบบปิดแรงจะถูกส่งไปยังผิวหน้าทั้งหมดทำให้โลหะไหลเข้าไปในโพรงแบบของแม่พิมพ์และจะคัดให้ได้รูปร่างที่ต้องการ ส่วนแม่พิมพ์ตีแบบเปิดจะมีต้นทุนน้อยกว่าแม่พิมพ์ตีขึ้นรูปแบบปิดและจะได้เปรียบทางเศรษฐศาสตร์มากกว่าสำหรับชิ้นส่วนที่น้อยชิ้นแต่สามารถใช้ได้กับงานที่มีรูปร่างง่ายๆ ถ้าสำหรับงานที่มีรูปร่างมีความซับซ้อนและต้องการความเที่ยงตรงด้วยอัตราการผลิตที่สูงควรจะใช้แม่พิมพ์แบบปิด ซึ่งแม่พิมพ์แบบปิดนี้จะใช้คนที่มีความชำนาญไม่มากนักทำงานได้ ส่วนแม่พิมพ์แบบเปิดต้องมีคนที่มีความชำนาญมาควบคุม ทั้งแบบค้อนและแบบกดอาจจะใช้แม่พิมพ์ตีแบบเปิดหรือแบบปิดก็ได้ การประยุกต์การใช้งานของเครื่องมือในการตีขึ้นรูปทั้งสองชนิดนี้ จะมีข้อจำกัดเกี่ยวกับรูปร่างของผลิตภัณฑ์และวัสดุที่จะใช้ แบบค้อนที่จะใช้กับแม่พิมพ์แบบเปิดซึ่งเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างและส่วนประกอบอย่างง่าย และสำหรับ Output ต่ำ ซึ่งไม่มีความจำเป็นต้องใช้พิมพ์ที่ซับซ้อนหรือแม่พิมพ์แบบปิด ค้อนที่ใช้ในแม่พิมพ์ แบบปิดจะใช้สำหรับผลิตชิ้นส่วนที่มีพิกัดความเผื่อน้อย (close tolerance) ที่จำนวนการผลิตน้อยเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ สูงถึง 2,000 ชิ้น/อายุของแม่พิมพ์ (die run) สำหรับงานตีขึ้นรูปที่ขอบเขตจำกัดและต้องการปริมาณมากๆ [5,000-6,000 ชิ้น/อายุการใช้งานแม่พิมพ์ (die run)] จะทำงานด้วยการกด (Presses) แบบกด ถูกใช้สำหรับงานใหญ่ๆและมีรูปร่างสมมาตร ส่วนแบบค้อนและเครื่องตีขึ้นรูป (Forging Machines) จะใช้สำหรับชิ้นส่วนเล็กๆ เมื่อต้องการลดขนาดก็จะเลือกใช้ค้อน (hammer) และเมื่อจะเพิ่มขนาดก็จะใช้เครื่องตีเครื่องตอกหรือเครื่องย้ำ (up-setter)

2.11 อุณหภูมิที่ใช้ในการตีขึ้นรูป

ตามหลักการ แล้วถ้าอุณหภูมิของงานต่ำกว่าอุณหภูมิที่จะตกผลึกของวัสดุที่จะนำมาตีขึ้นรูปการตีในช่วงนั้นจะเป็นแบบ การตีขึ้นรูปแบบงานเย็น (Cold Forging) และถ้าอุณหภูมิของงานอยู่เหนืออุณหภูมิตกผลึกจะอยู่ในช่วงการตีขึ้นรูปแบบร้อน (Hot Forging) ในทางปฏิบัติการตีขึ้นรูปเย็นจะกระทำที่อุณหภูมิห้องและการตีขึ้นรูปแบบร้อนจะกระทำที่อุณหภูมิตีขึ้นรูปของวัสดุที่ใช้ผลิตชิ้นงาน ในการทำโครงงานปริญญานิพนธ์ครั้งนี้เป็นการตีขึ้นรูปแบบเย็นจะกล่าวถึงการขึ้นรูปแบบเย็นอย่างเดียว

การตีขึ้นรูปแบบเย็น (Cold Forging) มีคุณลักษณะเฉพาะของการปฏิบัติงานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แรงที่ใช้สูง
2. ทำให้ชิ้นงานมีความแข็งมากและความแข็งแรงของโลหะจะเพิ่มขึ้นอย่างถาวรบางครั้งเราอาจจะใช้วัสดุที่มีคุณภาพต่ำมาทำให้เพิ่มคุณสมบัติเพิ่มขึ้น โดยงานจะมีความแข็งและการไหลดีกว่า
3. ผิวสำเร็จดีมาก ซึ่งจะลดหรือไม่มีการตกแต่งผิวในภายหลัง ทำให้ประหยัดวัสดุเป็นอย่างมาก
4. มีขนาดเที่ยงตรงสูง
5. เหมาะกับการผลิตปริมาณมากและเป็นแบบอัตโนมัติ
6. เหมาะสมกับส่วนประกอบที่มีแกนเป็นสัดส่วน เช่น พวกส่วนประกอบของเพลาส่วนประกอบหน้าแปลน เฟือง และร่องแบริ่ง ฯ ลฯ
7. ขอบเขตจำกัดของการตีขึ้นรูปเมื่อใช้ในการตีขึ้นรูปแบบเย็น คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำและปานกลาง (0.25–0.45%C)

2.12 กระบวนการในการตีขึ้นรูป (Forging Process)

ขบวนการตีขึ้นรูปอาจจะแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ การตีขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เปิดและการตีขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ปิด

2.12.1 การตีขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เปิด (Open-die forging)

ในการตีขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เปิดบางทีก็เรียกว่า "การทุบขึ้นรูปด้วยค้อน (Hammer Forging) หรือ การตีขึ้นรูปด้วยผิวแม่พิมพ์ที่เรียบ (Flat die forging)" ชิ้นงานจะถูกตีหรือกดระหว่างผิวที่เรียบของแม่พิมพ์ การตีขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เปิดจะใช้จำนวนของส่วนประกอบในการขึ้นรูปมีน้อย ถ้าในเรื่องต้นทุนของการทำแม่พิมพ์หรืองานที่มีขนาดใหญ่เกินไปและรูปร่างที่ผิดปกติมักจะใช้แม่พิมพ์แบบปิด โดยปกติรูปร่างส่วนมากที่ใช้กับแม่พิมพ์แบบเปิด คือ เป็นแท่งแผ่นหนาหรือแผ่นบางที่มีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า วงกลม หกเหลี่ยมวงแหวนที่ปราศจากการเชื่อม และส่วนประกอบอื่น ๆ อีกมากที่มีรูปทรงง่าย ๆ เครื่องมือตีขึ้นรูปที่ใช้กับการตีขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เปิด อาจจะใช้ค้อน (Hammer) หรือแบบกด (Presses)ก็ได้

ขอบเขตของการทุบขึ้นรูปแบบเปิด

1. การควบคุมในการกำหนดการไหลเวียนของเกรนทำได้ยาก คุณสมบัติทางกลมีน้อยและการควบคุมขนาดทำได้น้อย
2. มีข้อจำกัดในการผลิตในช่วงสั้น ๆ
3. ใช้ประโยชน์จากโลหะที่มีคุณภาพต่ำ
4. มีข้อจำกัดให้ใช้กับรูปแบบง่าย ๆ
5. มีความยากที่จะรักษาระยะเผื่อไว้ได้พอปริมาณ
6. ต้องการคนงานที่มีความชำนาญงาน
7. ทุนในขั้นสุดท้ายจะสูงกว่าการตีด้วยวิธีอื่น ๆ เพราะว่าบ่อย ๆ แล้วหลังจากการขึ้นรูปต้องนำไป Machines อีกครั้งหนึ่ง

2.12.2 การตีขึ้นรูปแม่พิมพ์แบบปิด (Closed-Die Forging)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตีขึ้นรูปแม่พิมพ์แบบปิด โพรงแบบหรือตัวพิมพ์จะตัดอยู่ใน die block ซึ่งโลหะเมื่อได้รับแรงตีจากเครื่องจักรมันจะเป็นรูปร่างและขนาดขั้นสุดท้ายการไหลตัวของโลหะจะถูกจำกัดในตัวพิมพ์ การตีขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ปิดจะมีคุณลักษณะเฉพาะดังนี้

1. ประหยัดเวลาเมื่อเทียบกับการทุบขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์เปิด
2. ทำให้เกิดประโยชน์กับวัสดุชิ้นงาน
3. ความสามารถในการถอดแบบดีมาก
4. การทำการตีขึ้นรูปซึ่งการเผื่อสำหรับการตกแต่งขนาดด้วยเครื่องจักรน้อยมากดังนั้นจึงลดเวลาในการตกแต่งขนาดด้วยเครื่องจักรจะลดน้อยลงไปมากทีเดียว และเป็นการลดความสิ้นเปลืองวัสดุด้วย
5. สามารถตีขึ้นรูป รูปทรงที่มีรูปร่างซับซ้อนได้
6. เครื่องมือการตีขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ปิดไม่จำเป็นต้องใช้คนงานที่มีความชำนาญ
7. สามรถควบคุมการไหลของเกรนในโลหะได้
8. เป็นวิธีที่เหมาะกับอัตราการผลิตที่เร็ว
9. ต้นทุนของเครื่องมือสูง ดังนั้นจึงเหมาะกับการผลิตแบบมาก ๆ

2.13 ประเภทของแม่พิมพ์ (Classification of Die)

แม่พิมพ์สามารถแบ่งประเภทได้ดังต่อไปนี้

2.13.1 แม่พิมพ์แบบ Single Impression

แม่พิมพ์จะบรรจุด้วยโพรงแบบหรือแม่พิมพ์ 1 อย่างเท่านั้น ในการดำเนินการขึ้นรูปในเบื้องต้นจะกระทำด้วยมือ หรือ การตีด้วยค้อน (Forge Hammers) และการดำเนินการขั้นสุดท้ายจะ ทำเสร็จในโพรงของแม่พิมพ์

2.13.2 แม่พิมพ์แบบ Multi Impression

แม่พิมพ์นี้มีการดำเนินการที่เสร็จครบถ้วนอยู่แล้วและมีพิมพ์ที่ช่วงอยู่หนึ่งหรือมากกว่า สำหรับการดำเนินการตีเบื้องต้นรูปร่างของชิ้นส่วนขั้นสุดท้ายจะได้มากจากการขึ้นรูปปรับปรุงรูปร่างของงานอย่างต่อเนื่องจากพิมพ์ตัวแรกไปยังพิมพ์ตัวต่อ ๆ ไปจนเสร็จ โดยทั่วไปแม่พิมพ์แบบนี้ราคา แพงมาก และการใช้งานจะทำก็ต่อเมื่อมีปริมาณการผลิตที่มากพอต่อการทำ

ข้อดีของแม่พิมพ์

1. มีลำดับการปฏิบัติการตีขึ้นรูปที่ครบถ้วน และสามารถดำเนินการได้ด้วยเครื่องมือเดียวเท่านั้น ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงการใช้เครื่องมือ หรืออุปกรณ์ช่วยในการตีขึ้นรูปอื่นๆ
2. การใช้แม่พิมพ์แบบมัลติอิมเพรสชัน (Multi-impression) โดยเฉพาะจะเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็ก ปานกลาง และมีจำนวนการผลิตที่มาก ซึ่งวิธีนี้จะใช้เวลาในการผลิตดีกว่า วิธีการผลิตด้วยชิงเกิ้ลดายถึง 2-3 เท่า เพราะว่าสามารถลดหรือกำจัดเวลาที่ใช้ในการเตรียมเครื่องมือหรืออุปกรณ์ช่วยไปได้
3. ในการดำเนินการเบื้องต้นสามารถทำได้บนแม่พิมพ์ซึ่งจะเป็นการสะดวกดีสามารถใช้ในการเตรียมให้ได้ขนาดที่ถูกต้อง นอกจากนั้นการเตรียมงานทุบขึ้นรูปโลหะจะได้ความเที่ยงตรงสูง
4. ลดความสิ้นเปลืองของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ไม่ต้องให้ความร้อนซ้ำ สำหรับพิมพ์ที่สำเร็จ

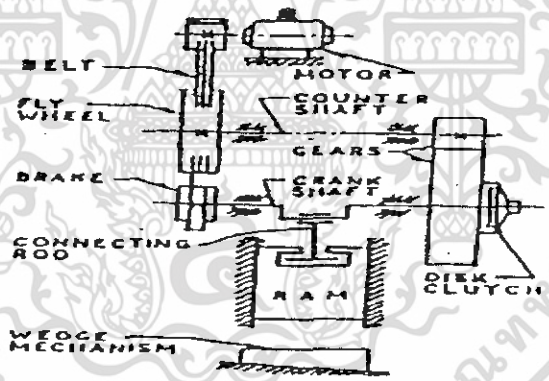
6. แบบของแม่พิมพ์จะไม่มีความสำคัญเมื่อเทียบกับกรณีที่ให้อัตราการผลิตสูง

7. พิมพ์ที่เสร็จแล้วจะใช้งานได้นาน

2.14 เครื่องตีขึ้นรูปแบบกด (Press Forging)

ในการทำโครงงานปริญญานิพนธ์นี้ เราใช้เครื่องตีขึ้นรูปแบบกด ก็คล้ายๆกับแบบค้อนทิ้ง และเครื่องตีขึ้นรูปแบบกดนี้ยังใช้แม่พิมพ์แบบอิมเพรสชั่น (Impression) แต่ละชิ้นส่วนโดยการนำแผ่นโลหะที่เตรียมไว้ (metal blank) มาขึ้นรูปแบบพลาสติกในโพรงแบบของแม่พิมพ์โดยการบีบเข้าอย่างช้าๆ ความดันในการตี เริ่มขึ้นที่จังหวะไปสุด ซึ่งผลที่ได้สูงสุดคือ มีการแทรกซึมและปรับปรุงการไหลของเกรนตลอดทั่วทั้งชิ้นงาน ชิ้นงานทุบเมื่อสำเร็จจะนำออกด้วยมือหรือกลไกในโพรงแบบของแม่พิมพ์

เครื่องเพรสที่ใช้สำหรับการตีขึ้นรูป : เครื่องเพรสแบบทางกล [เช่นแบบข้อเหวี่ยง (Crank type) แบบข้อต่อเยื้องศูนย์ (Eccentric toggle) และแบบเกลียว (screw type) และเครื่องเพรสแบบใช้น้ำมันอัด (Hydraulic Presses) แผนภาพการส่งถ่ายกำลังของเครื่องเพรสโดยทางกลแบบข้อเหวี่ยง ดังแสดงในรูป 2.8 คือจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขับพูลเล่ย์ให้หมุนขึ้น แล้วใช้สายพานต่อส่งไปทำให้เพลาเครื่องได้รับแรงบิดจากเพลาจะส่งผ่านเฟืองไปขับให้เพลาข้อเหวี่ยงหมุนได้ จากเพลาข้อเหวี่ยงจะทำให้แรม(Ram) เคลื่อนที่ขึ้นลงได้ด้วยการข้อต่อ (Connecting rod) เป็นตัวช่วย แม่พิมพ์ตัวล่างจะถูกล็อคอยู่ด้วยกลไกของลิ่ม จานคลัตช์ (Disk clutch) จะใช้ในการเริ่มและหยุดการเคลื่อนที่ของแรม มันจะทำให้แรมค่อยๆหยุดลงด้วยเบรก เครื่องเพรสทางกลจะมีความเร็วกว่าเครื่องเพรสไฮดรอลิค



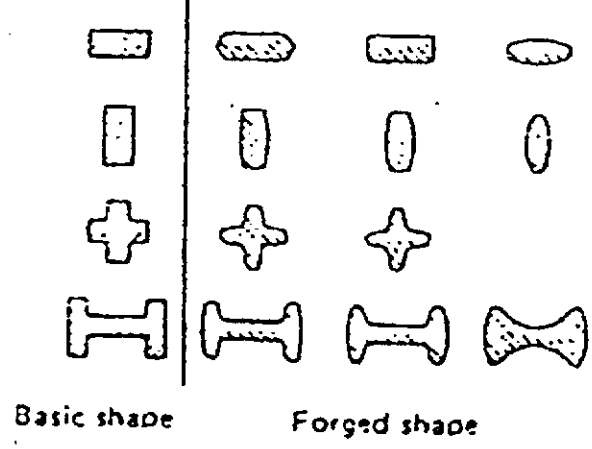
รูปที่ 2.11 Crank type mechanical

2.15 การออกแบบแม่พิมพ์ตีขึ้นรูป

ในการออกแบบแม่พิมพ์ตีขึ้นรูปต้องคำนึงถึง การไหลของวัสดุ การออกแบบเครื่องมือ ความแม่นยำและขนาดและการลดการตกแต่งผิว

2.15.1 การออกแบบการไหลตัวของวัสดุและผนังของแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานและวัตถุดิบ

2.15.2 การออกแบบความละเอียดของขนาด

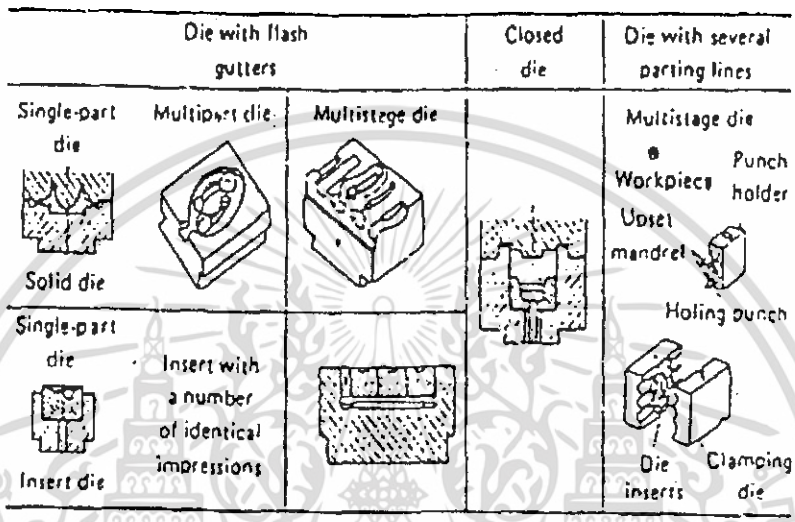
ความไม่แน่นอนของขนาดเกิดการหดตัวและการเปลี่ยนแปลงของแม่พิมพ์ ซึ่งจะต้องนำไปคิดเพื่อใช้ในการพิจารณาค่าเผื่อที่เหมาะสมสำหรับมาตรฐานปิดที่ชิ้นงานเป็นโลหะหรือเหล็ก ดูที่ DIN 7529 ซึ่งประกอบด้วยความละเอียดของขนาดต่างๆ เส้นแบ่งครึ่งแม่พิมพ์ วัสดุของชิ้นงานและรูปทรงเรขาคณิต ซึ่งควรที่จะศึกษาความละเอียดของขนาด สำหรับค่าเผื่อของแม่พิมพ์ที่ใช้กับชิ้นงาน ที่ทำจากอะลูมิเนียม แมกนีเซียม ทองแดง และทองแดงผสมระบุอยู่ใน DIN 1749 DIN 9005 และ DIN 17673 การปรับปรุงให้ความละเอียดของขนาดแต่ละส่วนดีขึ้นนั้น อาจทำได้ด้วยการออกแบบขนาดของชิ้นงานที่เหมาะสม

2.15.3 เครื่องมือสำหรับแม่พิมพ์ปิด

62843

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

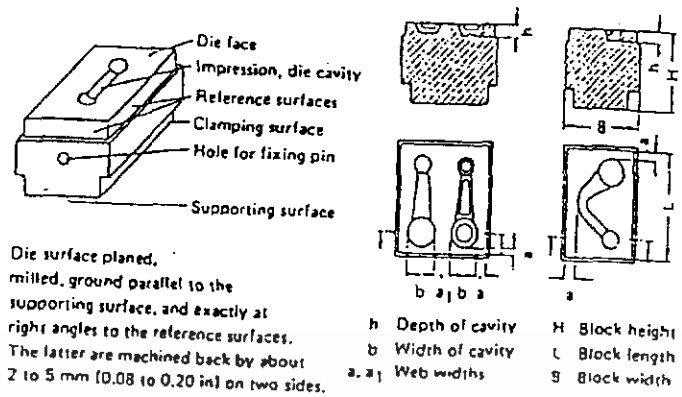
กรณีแม่พิมพ์ปิดสำหรับงานดีขึ้นรูป แม่พิมพ์ที่มีบริเวณสัมผัสหลายๆ แห่งเรียกว่า Multi-part Dies หมายถึง แม่พิมพ์ที่ทำการดีขึ้นรูปเพียงครั้งเดียว แต่ได้ชิ้นงานที่มีความแตกต่างกัน ส่วน Multistage Dies จะทำงานตรงกันข้าม คือมีจุดสัมผัสหลายแห่ง แต่ทำงานด้วยหน้าที่ที่แตกต่างกัน ส่วนแม่พิมพ์ที่ใช้หลักการร่วมกันก็มีการใช้งาน แต่ใช้สำหรับผลิตชิ้นงานที่มีขนาดเล็กๆ สำหรับ Die inserts ถูกนำไปใช้เพื่อลดค่าใช้จ่ายวัสดุทำแม่พิมพ์ที่มีราคาแพง เช่น ชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้าที่มีอุณหภูมิดีขึ้นรูปสูงตัวประกอบสามารถติดตั้งได้ทั้งใช้วิธีมีตัวยึดหรือยึดด้วยแรงดีขึ้นรูป ข้อดีของการใช้แม่พิมพ์ประกอบก็คือ คุ้มกับการผลิตชิ้นงานที่มีปริมาณน้อย และยังประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บอีกด้วย



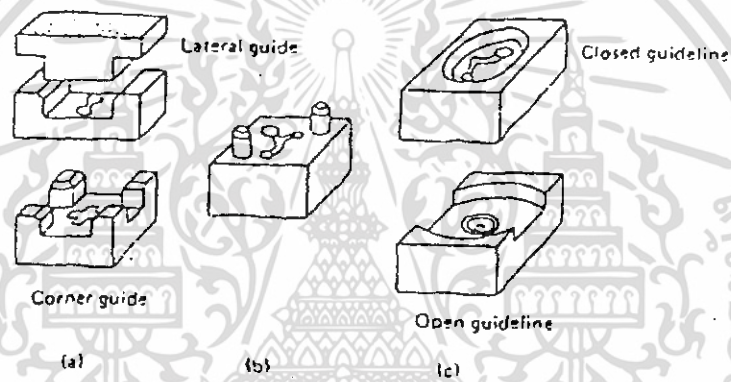
รูปที่ 2.13 แสดงความแตกต่างของแม่พิมพ์ชนิดต่าง ๆ

ในรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นถึงรูปแบบต่างๆ ของแม่พิมพ์แบบการดีขึ้นรูป มิติต่างๆ ที่ถือว่าเป็นขนาดน้อยที่สุด เช่นความลึก ความสูง และความยาว ของแม่พิมพ์ดูเทียบได้จาก (ดูรูปที่2.13)กับ หน้าสัมผัสรูปแบบต่างๆ ได้แสดงให้เห็นไว้แล้ว (ดูรูปที่ 2.14) เพื่อใช้เลือกเพื่อให้ถึงความแม่นยำของตำแหน่งของแม่พิมพ์ทั้งสอง ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วนเท่าๆกัน และไม่ควรที่จะออกแบบให้เนื้อวัสดุที่ล้นออกมาหรือการตกแต่งผิวเกินความจำเป็นซึ่งสามารถที่จะกระทำโดยการคำนวณที่แม่นยำ ความร่วมศูนย์ของแม่พิมพ์ทั้งสองต้องถูกต้อง การบำรุงรักษาระยะทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ต่างๆ ของแม่พิมพ์แบบใช้ดีขึ้นรูป ต้องยึดให้แน่นด้วยลิ่มที่เป็นมุมเอียงหรือตัวยึดแบบมุมเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์

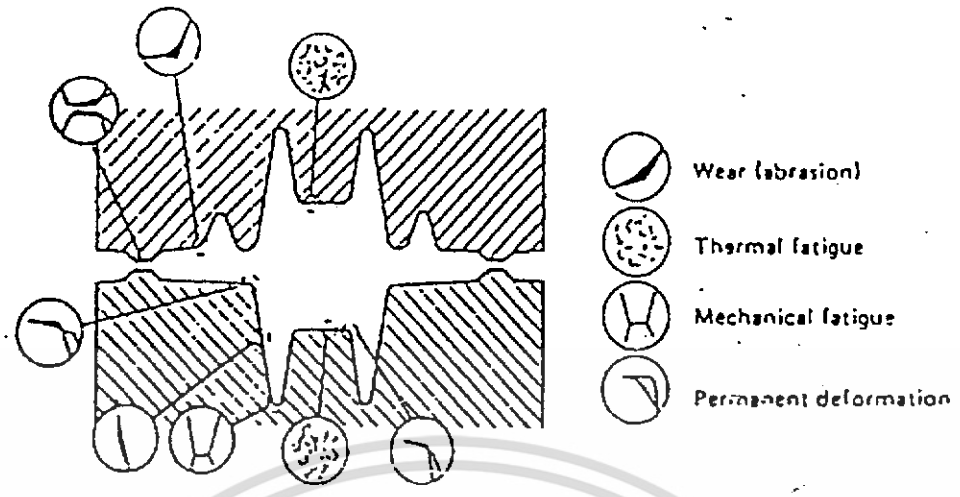


รูปที่ 2.15 แสดงวิธีกำหนดตำแหน่งของ Punch และ Die

ข้อกำหนดต่างๆ ของวัสดุทำแม่พิมพ์จะมากหรือน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ ขนาด รูปทรง และประเภทของวัสดุที่เป็นชิ้นงานวัสดุอีกด้วย สำหรับแม่พิมพ์ขนาดเล็กๆ และเป็นแบบ Flat Impression ควรใช้เหล็กกล้าที่มีปริมาณคาร์บอน 0.7 – 0.85 % สำหรับแม่พิมพ์ตีขึ้นรูป ควรใช้เหล็กกล้าที่เป็นเหล็กกล้าเครื่องมือแบบเหล็กกล้าผสมปานกลาง (Medium alloyed tool)

มิติต่างๆ ของโพรงแม่พิมพ์ควรมีคุณภาพอยู่ในระดับ 3 – 5 ตามมาตรฐาน ISO ซึ่งระดับต่ำสุดตามมาตรฐาน ISO คือ 1 ซึ่งควรมีความแม่นยำมากกว่าชิ้นงานที่ผลิต เพราะว่าขนาดต่างๆจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปอย่างอย่างถาวรจากความตึงเครียดที่เกิดขึ้นได้ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับแม่พิมพ์แบบตีขึ้นรูป ส่วนที่เป็นหน้าสัมผัส ควรมีพื้นที่ใหญ่พอประมาณเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของแม่พิมพ์ ควรมีค่า 1500 – 1800 ตารางมิลลิเมตร ต่อ ตัน ที่ความเร็วในการไหลของวัสดุประมาณ 5 เมตรต่อวินาที รูปที่ 2.16 จะแสดงให้เห็นถึงจุดที่มีโอกาสเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร และเกิดความสึกหรอจากความล้าทางกลที่เกิดจากอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แสดงจุดที่สึกหรอของ Punch และ Die

2.16 รอยตำหนิที่มักเกิดขึ้นในกระบวนการตีขึ้นรูป

รอยตำหนิจะเกิดขึ้นจากสาเหตุดังนี้ คือ คุณภาพของวัสดุไม่ดี การออกแบบแม่พิมพ์ ใช้ทฤษฎีการขึ้นรูปผิด ซึ่งจะก่อให้เกิดรอยตำหนิดังต่อไปนี้

1. รอยแตกเล็กๆ ที่มุมขอบของชิ้นงาน เกิดจากวัสดุเกิดการพับตัวในขณะที่ขึ้นรูปมุมแหลมที่อยู่ในพิมพ์ อาจทำให้วัสดุไหลไม่ดี ทำให้เกิดรอยแตก

2. ผิวชิ้นงานเกิดเป็นบ่อตื้น ที่เกิดจากคราบเป็นเพราะโพรงของแม่พิมพ์ไม่สะอาดหลังจากทำความสะอาดชิ้นงานที่มีคราบแล้ว จะยังคงเห็นผิวชิ้นงานเป็นบ่ออีกต่อไปนี้เป็นบ่อตื้นๆ นี้เรียกว่า Scale pits ซึ่งจะต้องควบคุมให้ผิวชิ้นงานเป็นบ่อน้อยที่สุด ด้วยการดูแลเตาและความสะอาดโพรงของแม่พิมพ์

3. แม่พิมพ์เลื่อน เกิดจากแม่พิมพ์ทั้งสองไม่ร่วมศูนย์กัน

4. ชิ้นงานไม่เต็มแบบ เกิดจากการคำนวณปริมาตรวัตถุดิบไม่ถูกต้อง คำนวณแรงในการขึ้นรูปไม่เพียงพอ แม่พิมพ์ออกแบบผิดพลาดหรือคำนวณผิด

5. ขนาดไม่ได้ตามที่กำหนด เกิดจากแม่พิมพ์สึกหรอหรือใช้แม่พิมพ์ผิดรุ่นผิดขนาด

6. มีรอยแตกเป็นแอ่ง เกิดจากชิ้นงานได้รับความร้อนมากเกินไป

7. ชิ้นงานขาดเป็นริ้วๆ และสูญเสียเนื้อโลหะ

8. โครงสร้างของเกรนไม่ต่อเนื่อง ซึ่งจะดูได้จากการศึกษาโครงสร้างของชิ้นงานเท่านั้นอาจมีสาเหตุมาจากขณะขึ้นรูป มีการเปลี่ยนแปลงเร็วเกินไป ซึ่งจะเกิดกับวัสดุบางประเภทปริมาตรของวัตถุดิบไม่ถูกต้องหรือแม่พิมพ์ได้รับการออกแบบมาไม่เหมาะสม

9. มีรอยแตกตามยาวหรือขวาง

10. เป็นรูพรุนในเนื้อของชิ้นงานหรือที่ผิวงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17 ทฤษฎีวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

ในหัวข้อนี้ได้กล่าวถึงหลักเบื้องต้นของวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ โดยเริ่มต้นด้วยลักษณะรูปร่างของอิลิเมนต์ที่ใช้ในการวิจัยและการสร้างฟังก์ชันการกระจัดของอิลิเมนต์ ประกอบด้วยฟังชั่นรูปร่างสำหรับปริมาณรูปร่างหน้าที่เปลี่ยนไปของอิลิเมนต์ สำหรับงานขึ้นรูปโลหะนั้นจะใช้อิลิเมนต์ชนิดภาวะต่อเนื่อง (Continuum Element) 2 มิติ หรือ 3 มิติ ก็ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่ทำการวิเคราะห์หลังจากนั้นจะใช้สมการอัตราความเครียดและสมการความเค้นในการแทนพฤติกรรมของอิลิเมนต์ เพื่อนำสมการที่ได้ไปสร้างสมการไฟไนต์อิลิเมนต์ ในที่นี้เราใช้สมการหลักของงานเสมือนเป็นพื้นฐานในการสร้างสมการ โดยมีเงื่อนไขความเสียดทานเป็นเงื่อนไขขอบเขตสำหรับการแก้สมการเมทริกซ์ โดยทั้งหมดมีรายละเอียดต่อไปนี้

หลักการเบื้องต้นของวิธีการไฟไนต์อิลิเมนต์

วิธีไฟไนต์อิลิเมนต์เป็นวิธีเชิงตัวเลขวิธีหนึ่ง ที่ใช้สำหรับแก้ไขการเชิงอนุพันธ์สามารถประยุกต์ใช้ได้กับปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง ไม่ว่าวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์จะอยู่ในสภาพยืดหยุ่นหรือสภาพพลาสติก การวิเคราะห์โครงสร้างจำลองของปัญหาจะประกอบจากชิ้นส่วนเล็กๆ ตามรูปทรงชิ้นงานเรียกว่า อิลิเมนต์ รูปร่างของอิลิเมนต์ถูกกำหนดด้วยจุดต่อตั้งแต่ สองจุดขึ้นไป โดยทั่วไปการวิเคราะห์ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์นั้นปัญหาจะถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยๆอย่างต่อเนื่องตามรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของชิ้นงาน การวิเคราะห์จะนำค่าของอิลิเมนต์มารวมกันเป็นผลเฉลยของทั้งระบบ ผลเฉลยที่ได้รับจะเป็นผลเฉลยที่จุดต่อของแต่ละอิลิเมนต์ จากนั้นจะหาการกระจัดความเค้นของแต่ละจุดต่อของอิลิเมนต์ที่ประกอบเป็นโครงสร้างของระบบได้

หลักการโดยทั่วไปของวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ คือ การแบ่งโครงสร้างออกเป็นส่วนย่อยๆจากนั้นนำฟังก์ชั่นการกระจัด (Displacement Function) มาแทนลักษณะรูปร่างของอิลิเมนต์ซึ่งต้องเป็นฟังก์ชั่นต่อเนื่อง โดยแต่ละอิลิเมนต์โยงกันด้วยจุดต่อ และอาศัยความสัมพันธ์ความเค้น, ความเครียดและการกระจัดในการหาผลเฉลยของปัญหา ณ จุดต่อต่างๆ ของอิลิเมนต์ ขั้นตอนของวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ ได้แบ่งขั้นตอนทั่วๆไปมีดังนี้

2.17.1 การแบ่งโครงสร้างเป็นอิลิเมนต์ย่อยและการเลือกชนิดของเอลิเมนต์

การแบ่งโครงสร้างออกเป็นอิลิเมนต์ย่อยต้องคำนึงถึงจำนวนอิลิเมนต์และจำนวนจุดต่อที่ใช้ การแบ่งอิลิเมนต์สำหรับแทนรูปร่างชิ้นงานเดิมนั้นรูปร่างที่ได้ต้องใกล้เคียงกับของจริงมากที่สุด เช่น บริเวณที่มีส่วนโค้ง ส่วนเว้า เป็นต้น ส่วนบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากนัก อาจแทนส่วนนั้นด้วยเอลิเม้นที่มีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ถ้าแบบจำลองไฟไนต์อิลิเมนต์ประกอบด้วยอิลิเมนต์จำนวนมากเกินความจำเป็น จะทำให้เสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการคำนวณที่สูงขึ้น ส่วนการเลือกชนิดของอิลิเมนต์ต้องคำนึงถึงรูปร่างของการเปลี่ยนรูปและความเหมาะสมกับปัญหาที่ทำการวิเคราะห์

2.17.2 การเลือกการฟังก์ชั่นการกระจัด

ฟังก์ชั่นที่สมมุติขึ้นเพื่อประมาณหรือทำนายการเปลี่ยนแปลงของแต่ละจุดต่อ การเลือกฟังก์ชันการกระจัดภายในของอิลิเมนต์จะต้องสอดคล้องกับจำนวนจุดต่อของอิลิเมนต์ฟังก์ชั่นการกระจัดส่วนมากอยู่ในรูปของฟังก์ชั่นพอลิโนเมียลกำลังหนึ่ง, กำลังสอง หรือกำลังสาม สำหรับการเลือกใช้ฟังก์ชั่นพอลิโนเมียลที่มีกำลังสูงๆ จะทำให้การ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจัดที่สมมุติขึ้นมีค่าใกล้ผลเฉลี่ยโดยประมาณแต่การแก้สมการค่อนข้างทำได้ยาก อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ฟังก์ชั่นพอลินอเมียลยกกำลังเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาและความละเอียดของผลเฉลยที่ต้องการ

2.17.3 การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด/การกระจัดความเค้น/ความเครียด

สำหรับงานด้านกลศาสตร์ของแข็งการหาแรงและการกระจัดเป็นสิ่งสำคัญแต่เราไม่สามารถทราบค่าได้ ดังนั้นขั้นตอนแรกควรเริ่มต้นด้วยการเลือกฟังก์ชันการกระจัดที่เหมาะสมจากนั้นอาศัยความสัมพันธ์ของความเครียดกับการกระจัด และความเค้นกับความเครียดในการแก้ปัญหา ผลเฉลยจะถูกต้องแม่นยำเพียงใดย่อมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกลของวัตถุที่นำมาใช้ในการคำนวณและสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับการกระจัดและความเค้นกับความเครียด

2.17.4 การหาสติฟเนสเมทริกซ์และสมการของเอลิเมนต์

การสร้างสติฟเนสเมทริกซ์และสมการแรงของแต่ละอิลิเมนต์ ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดของวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์สามารถหาได้หลายวิธี สำหรับการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้เลือกวิธีการแปรผัน (Variation Method) ในการหาสมการของอิลิเมนต์ เริ่มต้นโดยการใช้หลักการของงานเสมือน (Principle of Virtual Work) ในการหาฟังก์ชั่นของอิลิเมนต์ และเมื่อทำการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชั่นได้แล้วจะเกิดสมการเชิงอนุพันธ์ที่สอดคล้องกับปัญหาขึ้น

โดยอาศัยวิธีการแปรผันจะได้สมการสมดุลของแรงในเทอมของสติฟเนสเมทริกซ์ และการกระจัดที่จุดต่อของอิลิเมนต์สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้คือ $\{f\} = [k]\{d\}$ โดย $\{f\}$ คือเมทริกซ์ของแรงกระทำที่จุดต่อ, $[k]$ คือเมทริกซ์ของการกระจัดที่จุดต่อซึ่งไม่ทราบค่า

2.17.5 การหาสมการรวมของระบบและการกำหนดเงื่อนไข

สมการรวมของระบบสามารถหาได้จากการรวมสมการของแต่ละอิลิเมนต์เข้าด้วยกันและเขียนให้อยู่ในเทอมของเมทริกซ์รวมทั้งระบบ อาศัยหลักวิธีทับซ้อนหรือวิธีสติฟเนสโดยตรงเลยก็ได้ สมการรวมของระบบอยู่ในรูปของเมทริกซ์

$$\{f\} = [k]\{d\} \qquad (2.8)$$

โดย $\{f\}$ คือเมทริกซ์ของแรงกระทำที่จุดต่อ

$[k]$ คือเมทริกซ์ของการกระจัดที่จุดต่อซึ่งไม่ทราบค่า

เนื่องจากสติฟเนสเมทริกซ์ $[k]$ เป็นเมทริกซ์เอกฐานทำให้ไม่สามารถหาค่าเมทริกซ์การกระจัดของระบบได้โดยตรง จึงต้องกำหนดเงื่อนไขขอบ (Boundary Condition) เพื่อให้สติฟเนสเมทริกซ์ $[k]$ ไม่เป็นเมทริกซ์เอกฐาน และสามารถหาค่าการกระจัดแต่ละจุดต่อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17.6 การหาการกระจัดของระบบ

หลังจากใส่เงื่อนไขขอบลงในสมการรวมของระบบแล้วจะสามารถหาการกระจัดของแต่ละจุดได้ จากนั้นทำการแก้สมการแก้สมการเมทริกซ์โดยใช้วิธีต่างๆ เช่น วิธีของเกาส์ (Gauss's Elimination Method) หรือวิธีสมมุติการกระจัด (Iteration Method)

2.17.7 การหาค่าความเครียดและความเค้น

เมื่อคำนวณหาค่าการกระจัดของแต่ละจุดต่อออกมาได้แล้ว ก็สามารถทำการหาค่าอื่นๆได้ เช่นหาค่าความเค้น ,ความเครียด เป็นต้น จากนั้นใช้สมการพื้นฐานทางกลศาสตร์ของแข็งช่วยในการหาคำตอบโดยประมาณได้

2.18 การแบ่งโครงสร้างและการแบ่งส่วนอิลิเมนต์

การวิเคราะห์กระบวนการขึ้นรูปโลหะด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ จำเป็นต้องแบ่งส่วนชิ้นงานออกเป็นชิ้นเล็กๆ และการเลือกใช้ชนิดของอิลิเมนต์ต้องเหมาะสมกับรูปร่างลักษณะของงานได้แบ่งชนิดของอิลิเมนต์เป็น 3 ชนิดตามมิติ คือ อิลิเมนต์สำหรับปัญหามิติเดียว, สองมิติ, สามมิติ

2.19 ฟังก์ชั่นการกระจัด

ฟังก์ชั่นการกระจัดคือฟังก์ชั่นที่สมมุติขึ้นเพื่อประมาณหรือทำนายการเปลี่ยนแปลงของแต่ละจุดต่อของอิลิเมนต์ย่อย โดยผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการ ไฟไนต์อิลิเมนต์จะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความละเอียดในการแบ่งอิลิเมนต์ย่อยบนชิ้นงาน และการเลือกฟังก์ชันการกระจัดที่เหมาะสมกับรูปแบบอิลิเมนต์

2.20 สมการอัตราความเครียด

การวิเคราะห์ขณะอิลิเมนต์เกิดการเปลี่ยนรูปจะเกิดการกระจัดระหว่างอิลิเมนต์สำหรับการขึ้นรูปโดยโลหะความเครียดที่เกิดขึ้นภายอิลิเมนต์จะมีเทอมของเวลาในการเปลี่ยนรูปเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เรียกว่าอัตราความเครียด ($\dot{\varepsilon}$,Strain Rate) ดังนั้นในการหาความเครียดที่เกิดขึ้นภายในอิลิเมนต์นั้นจึงต้องอาศัยความสัมพันธ์ของอัตราความเครียดกับการกระจัด

สมบัติฐานที่ใช้สร้างเมทริกซ์ความสัมพันธ์ของอัตราความเครียดกับการกระจัดจะไม่นำผลของอุณหภูมิมาคำนวณ เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นขณะอัตรีดน้อยมาก จึงสามารถละเว้นไม่นำมาคิดในการคำนวณได้ ทำให้ความสัมพันธ์ของอัตราความเครียดกับการกระจัดไม่มีเทอมของอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง

2.21 หลักของอัตรางานเสมือน (Virtual Work – Rate Principle)

การวิเคราะห์หลักการของงานเสมือนเริ่มต้นสมดุลของสมการความเค้น โดยพิจารณาแรงที่กระทำกับพื้นที่ผิวใดๆ (S) ของวัตถุมีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่ เรียกว่า แรงกระทำบนพื้นผิว (Fi) และวัตถุอยู่ในสภาพสมดุล ดังนั้นสมการสมดุลระหว่างความเค้น (σ_{ij}) และแรงกระทำบนพื้นผิว คือ

$$F_i = \sigma_{ij} n_j \qquad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ F_i คือแรงกระทำบนพื้นผิว มีหน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่

σ_{ij} คือความเค้นในสามมิติ

n_j ทิศทางของโคซายน์

2.22 สมการไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Formulation)

การสร้างสมการไฟไนต์อิลิเมนต์ในการแก้ปัญหาด้านของแข็งหรือของไหล สามารถกระทำได้โดยใช้วิธีแปรผัน ซึ่งหลักการของวิธีแปรผัน คือการสร้างฟังก์ชั่น เมื่อทำการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชั่นนั้นแล้ว จะก่อให้เกิดสมการอนุพันธ์และเงื่อนไขขอบที่สอดคล้องกับปัญหา สำหรับวิธีการแปรผันจะอาศัยหลักการของงานหรือพลังงาน เช่นการใช้หลักการของพลังงานต่ำสุด, หลักการของงานเสมือนเป็นต้น จากหลักการข้างต้น สามารถประยุกต์ใช้หาสติฟเนสเมทริกซ์ของอิลิเมนต์ในปัญหาต่างๆ ได้เช่น ความเค้น – ความเครียด ระนาบ, ปัญหาสามมิติในกลศาสตร์ของแข็ง เป็นต้น

2.23 สมการการนำ (Governing Equations)

หลักการของอัตรางานเสมือนเป็นพื้นฐานหนึ่งในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านการเปลี่ยนรูปถาวร กล่าวถึงส่วนที่ต้องพิจารณาระหว่างการเปลี่ยนรูปของวัสดุออกจากสมการสมดุล สมการที่ใช้อธิบายพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปของโลหะสามารถหาได้โดยอาศัยหลักการต่างๆ คือ กฎการไหลตัวของของแข็ง, สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของโลหะในการเปลี่ยนรูปถาวรและสมการเงื่อนไขของการเปลี่ยนรูปเป็นต้น ซึ่งอาจจะเป็นเงื่อนไขการกระจัดและเงื่อนไขของการเปลี่ยนรูปเป็นต้น ซึ่งอาจเป็นเงื่อนไขของการกระจัดและเงื่อนไขของความเร็วในการไหลตัวของเนื้อโลหะ

2.24 โปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์อย่างง่าย(Easy Finite Element)

EasyFEM เป็นไฟไนต์อิลิเมนต์ซอฟแวร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาเองทั้งหมดโดยคนไทยเพื่อคนไทย ซึ่งเป็นซอฟแวร์ทางด้านระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ที่คนไทยเองสามารถทำความเข้าใจจากต้นจนจบ โดยพื้นฐานเบื้องต้นอันจะนำไปสู่ความสามารถในการใช้ซอฟแวร์ระดับสูงต่อไปด้วยความมั่นใจ

ระเบียบวิธีการไฟไนต์อิลิเมนต์ได้เข้ามามีอิทธิพลต่อการออกแบบงานทางวิศวกรรมเป็นอย่างมาก ในปัจจุบันวิศวกรในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ พึ่งพาการใช้ไฟไนต์อิลิเมนต์ซอฟแวร์เพื่อบ่งบอกถึงปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการออกแบบได้โดยตรงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยไม่ต้องลองผิดลองถูกดังเช่นที่เคยทำมาในอดีตซึ่งเป็นการลดค่าใช้จ่ายทางด้านเวลาและปริมาณทั้งทางด้านปริมาณของวัสดุ หลีกเลี่ยงการทดลองที่ไม่จำเป็นและที่สำคัญที่สุดชิ้นงานที่ออกแบบขึ้นมาจะมีความถูกต้องและให้ประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และอาคารโครงสร้าง ฯลฯ ล้วนนำไฟไนต์อิลิเมนต์ซอฟแวร์มาใช้ในการออกแบบกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

อุปสรรคที่สำคัญซึ่งผู้ใช้ซอฟต์แวร์ส่วนใหญ่ประสบปัญหา คือความไม่เข้าใจถึงที่มาของผลลัพธ์ซึ่งปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ทำให้ไม่สามารถตอบได้ว่าผลลัพธ์ที่คำนวณมาได้นั้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด มีผู้ใช้ซอฟแวร์เหล่านี้จำนวนไม่น้อยที่มีความฉนัดและเกิดความชำนาญจากการใช้ซอฟแวร์มาเป็นระยะเวลานาน จนไปถึงจุดที่เกิดความสงสัยขึ้นในตนเองว่า ผลลัพธ์แสดงด้วยสีต่างๆ ที่ปรากฏขึ้นบนหน้าจอคอมพิวเตอร์นั้นหามาได้อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์อย่างง่ายจะตอบคำถามเหล่านี้โดยการใช้คำอธิบายและภาพที่ง่าย อันจะก่อให้เกิดความเข้าใจและความมั่นใจในการใช้ซอฟแวร์อันมีประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

เนื้อหาบทนี้ประกอบด้วยภาพรวมกว้างๆของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์และองค์ประกอบของความรู้ต่างๆ ที่จำเป็น อันจะทำให้ผู้ศึกษาเกิดความเข้าใจในศาสตร์นี้โดยง่ายนับตั้งแต่ความรู้พื้นฐาน กระบวนการขั้นตอนในการแก้ปัญหาด้วยซอฟแวร์ รวมทั้งกระบวนการวิเคราะห์ด้วยวิธีระเบียบไฟไนต์อิลิเมนต์เอง ความเข้าใจในภาพรวมเช่นนี้จะช่วยให้ผู้วิเคราะห์ปัญหาสามารถใช้ซอฟแวร์ได้อย่างถูกต้องเป็นขั้นตอน อีกทั้งก่อให้เกิดความมั่นใจขึ้นด้วย

2.24.1 องค์ประกอบความรู้ที่จำเป็น

องค์ประกอบความรู้ 5 ประการดังอธิบายต่อไปนี้ ควรเป็นสิ่งที่ผู้ใช้ไฟไนต์อิลิเมนต์ซอฟแวร์พึงมี อันเปรียบเสมือนหน้าต่าง 5 บานซึ่งหากเปิดออกได้กว้างมากเท่าไหร่ก็จะทำให้เห็นความชัดเจนมากขึ้นเท่านั้น องค์ประกอบ 5 ประการนี้คือ

ความเข้าใจในสมการเชิงอนุพันธ์ ไฟไนต์อิลิเมนต์ซอฟแวร์ล้วนตั้งอยู่บนรากฐานของสมการเชิงอนุพันธ์ ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ T บนแผ่นเหล็กซึ่งวางตัวอยู่บนระนาบ X – Y นั้นสามารถหามาจากความจริงที่ว่า ณ ตำแหน่งใดๆ บนแผ่นเหล็กนี้ ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านเข้าและออกต้องเท่ากัน นั่นคือพลังงานไม่สูญหายไปไหน (conservation of energy)ความจริงเช่นนี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์ได้ เช่น

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial T^2}{\partial y^2} = 0 \qquad (2.10)$$

เป็นต้น การศึกษาในระดับมหาวิทยาลัยจึงบังคับให้เรียนวิชาทางคณิตศาสตร์ เช่นแคลคูลัส และสมการเชิงอนุพันธ์ เพื่อแก้สมการเพื่อหาผลลัพธ์ของอุณหภูมิ T ของเป็นฟังก์ชั่นของ x และ y จะมีลักษณะเป็นเช่นไร

ในทำนองเดียวกัน หากแผ่นเหล็กเดียวกันนี้จะเสียรูปและเกิดความเค้นตามมา การวิเคราะห์หาหลักการเสียรูปและความเค้นนั้น ทำได้จากการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยอีกเช่นกันหากแต่อยู่ในรูปแบบที่ต่างกันซึ่งบ่งบอกถึงผลรวมของแรง ณ จุดใดๆ บนแผ่นเหล็กนี้จะต้องอยู่ในสภาวะที่สมดุล ไฟไนต์อิลิเมนต์ซอฟแวร์จึงแฝงไปด้วยสมการเชิงอนุพันธ์ตั้งต้นที่สอดคล้องกันเสมอดังนั้นก่อนที่จะทำการไฟไนต์อิลิเมนต์ซอฟแวร์นั้นถูกประดิษฐ์ขึ้นเพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์แบบใดๆที่สอดคล้องกับปัญหาทางกายภาพชนิดใดๆ

ความเข้าใจในระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ เพื่อการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ดังกล่าวด้วยวิธีทางคณิตสาสตร์โดยลำพังนั้นเป็นสิ่งที่ไม่ง่ายเลย โดยเฉพาะหากรูปร่างของปัญหานั้นมีความซับซ้อน หัวใจของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์คือการแก้สมการดังกล่าวเพื่อหาผลลัพธ์โดยประมาณ [1,3,8,9] ด้วยการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งประกอบด้วยสัญลักษณ์คล้ายเลขหกกลับทางเหล่านี้ ไปเป็นสมการทางพีชคณิต (algebraic equations) อันประกอบไปด้วยกระบวนการ บวก ลบ คูณ หาร เท่านั้น กระบวนการดังกล่าวนี้เองที่เรียนกันในวิชาไฟไนต์อิลิเมนต์ตามมหาวิทยาลัยว่าขั้นตอนการเปลี่ยนสมาการเชิงอนุพันธ์ซึ่งประกอบไปด้วยสัญลักษณ์คล้ายเลขหกกลับทางนี้ไปสู่สมการทางพีชคณิตอันประกอบไปด้วย บวก ลบ คูณ หาร นั้นทำกันอย่างไร เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด

ความเข้าใจในระเบียบวิธีเชิงตัวเลข สมการทางพีชคณิตอันเป็นผลมาจากการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์นั้นประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าเป็นจำนวนมาก อีกทั้งจำนวนของสมการทางพีชคณิตนั้นยังขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหา ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องใช้ระเบียบวิธีทางตัวเลข (numerical methods) ประกอบด้วยกระบวนการอย่างเป็นขั้นตอนมาแก้เพื่อหาคำตอบ นอกจากนั้นสมการทางพีชคณิตเกิดขึ้นจากการแปลงสมการเชิงอนุพันธ์ในบางกรณี ยังอาจประกอบด้วยสิ่งต่างๆ ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานของระเบียบวิธีเชิงตัวเลข นับตั้งแต่ฟังก์ชั่นการประมาณภายใน (interpolation function) อินทิเกรตเชิงตัวเลข (numerical integration) การแก้ระบบสมการพีชคณิตขนาดใหญ่ (solving a set of simultaneous equation) รวมไปถึงระเบียบวิธีการต่างๆเพื่อใช้แก้สมการแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear equation) เป็นต้น ความรู้ความเข้าใจในระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเหล่านี้จะทำให้ผู้ใช้ไฟไนต์อิลิเมนต์ซอฟแวร์เกิดความเข้าใจและทราบล่วงหน้าก่อนทำการวิเคราะห์ว่าเป็นปัญหาชนิดใดและจะใช้เวลาในการคำนวณมากหรือน้อยเพียงใด

ความเข้าใจในการประดิษฐ์ไฟไนต์อิลิเมนต์ซอฟแวร์ ด้วยประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันนี้ทำให้การแก้ปัญหาขนาดใหญ่เป็นไปได้ด้วยความรวดเร็วการประดิษฐ์ไฟไนต์อิลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นในการลดเวลาของการคำนวณ และขจัดข้อผิดพลาดที่ทำด้วยมือหรือโดยการใช้เครื่องคิดเลข ขั้นตอนในการโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นเหมือนกับการทำด้วยมือ ดังนั้นนั้นผู้ใช้มีความรู้ความเข้าใจในระเบียบวิธีการไฟไนต์อิลิเมนต์และสามารถที่จะประดิษฐ์ไฟไนต์อิลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ด้วยตนเอง

ประสบการณ์ในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ประสบการณ์ในการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มีผลอย่างมากต่อการวิเคราะห์ปัญหา ความเข้าใจในระบบศักยภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานอยู่จะช่วยในการตัดสินหลายๆอย่างๆก่อนการแก้ปัญหา ประสบการณ์ในการใช้กราฟฟิกส์ซอฟแวร์ที่เกิดขึ้นในอดีต จะช่วยในการใช้ไฟไนต์อิลิเมนต์ซอฟแวร์เป็นไปได้อย่างสะดวกและคล่องตัวมากยิ่งขึ้น

2.24.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาใดๆ โดยทั่วไประเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ไม่ว่าจะทำด้วยมือหรือใช้ซอฟแวร์สำเร็จรูปก็ตาม ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

การแบ่งโดเมนของปัญหาออกเป็นอิลิเมนต์ย่อยๆ ยกตัวอย่างเช่น หากต้องการวิเคราะห์การเสียรูปของแผ่นเหล็กจากแรงดึง ขั้นตอนแรงจำเป็นต้องแบ่งแผ่นเหล็กออกเป็นอิลิเมนต์ย่อยๆ (discretization) หรือหากต้องการวิเคราะห์การไหลของน้ำภายในท่อ จำเป็นต้องแบ่งโดเมนซึ่งเป็นน้ำนั้นออกเป็นอิลิเมนต์ย่อยๆ ก่อนกระบวนการขั้นตอนแรกนี้โดยปกติจะใช้เวลามากในทางปฏิบัติเพราะจำเป็นต้องสร้างรูปร่างของปัญหา (geometry) อย่างถูกต้องขึ้นมาก่อน รูปร่างของปัญหาอาจจะประกอบด้วยส่วนเว้าส่วนโค้งที่มีความซับซ้อนต่างๆ

การเลือกใช้ชนิดของอิลิเมนต์อิลิเมนต์ย่อยที่แบ่งบนแผ่นเหล็กนั้นอาจเป็นอิลิเมนต์ในรูปแบบของสามเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่าก็ได้ หากแบ่งเป็นอิลิเมนต์สามเหลี่ยม ตัวไม่รู้ค่า (unknows) จะอยู่ที่มุมทั้งสามของสามเหลี่ยมนั้น ซึ่งเรียกกันว่าจุดต่อ (nods) การเลือกใช้ชนิดของอิลิเมนต์จะสอดคล้องกับลักษณะการกระจายของตัวที่ไม่รู้ค่าที่สมมติขึ้นบนอิลิเมนต์นั้น เช่น หากเลือกใช้อิลิเมนต์สามเหลี่ยมบนสามจุดต่อที่มุมทั้งสามแล้ว ลักษณะการกระจายตัวของตัวไม่รู้ค่าบนอิลิเมนต์นั้นจะถูกสมมติให้อยู่ในรูปแบบของแผ่นเรียบ (flat plane) เป็นต้น แต่หากเลือกใช้อิลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมแบบสี่จุดต่อที่มุมทั้งสี่ ลักษณะของการกระจายตัวไม่รู้ค่าบนอิลิเมนต์สี่เหลี่ยมนี้อาจไม่เรียบแต่โค้งไปโค้งมาได้ ดังนั้นการเลือกใช้อิลิเมนต์ชนิดต่างๆกันจึงมีผลโดยตรงกับผลลัพธ์ที่คำนวณได้

การประดิษฐ์สมการไฟไนต์อิลิเมนต์ สมการเชิงอนุพันที่สอดคล้องกับปัญหาที่สนใจอยู่นั้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสมการทางพีชคณิตที่เรียกกันว่าสมการไฟไนต์อิลิเมนต์สมการนี้จะถูกสร้างขึ้นสำหรับอิลิเมนต์เนื่องจากอิลิเมนต์ต่างมีขนาดไม่เท่ากัน กระบวนการประดิษฐ์สมการไฟไนท์อิลิเมนต์จากสมการเชิงอนุพันธ์นี้เองเป็นหัวใจของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาการไฟไนต์อิลิเมนต์หนังสือเกี่ยวกับการไฟไนต์อิลิเมนต์ที่ใช้กันทั่วไปจึงเน้นอธิบายเพื่อทำความเข้าใจในกระบวนการนี้เพราะหากผู้ศึกษาเกิดความเข้าใจแล้ว ก็สามารถประยุกต์ใช้วิธีการเดียวกันนี้สามารถแก้ปัญหาอื่นๆได้

การรวมสมการไฟไนต์อิลิเมนต์เข้าด้วยกันแล้วแก้ระบบสมการใหญ่ สมการไฟไนต์อิลิเมนต์ที่อยู่ในรูปแบบของสมการทางพีชคณิตซึ่งประดิษฐ์ขึ้นสำหรับแต่ละอิลิเมนต์ในขั้นตอนที่แล้วจำเป็นต้องนำมารวมกันอย่างถูกต้องและมีหลักการ เปรียบเสมือนการนำชิ้นตัวต่อมาต่อเข้ากันอย่างถูกต้องและเหมาะสม จึงจะเกิดเป็นรูปภาพใหญ่ที่สมบูรณ์ขึ้นได้ การประกอบสมการไฟไนต์อิลิเมนต์แต่ละสมการเข้าด้วยกัน จะก่อให้เกิดระบบสมการขนาดใหญ่ จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขทางขอบเขต(boundary conditions) ของปัญหานั้นๆ ก่อนแก้ระบบสมการขนาดใหญ่ดังนั้นเพื่อหาผลลัพธ์ที่จุดต่อ ซึ่งผลลัพธ์ที่จุดต่อเหล่านั้นอาจแทนด้วยค่าอุณหภูมิหากวิเคราะห์ปัญหาการถ่ายเทความร้อนหรือแทนค่าการเคลื่อนตัวหากวิเคราะห์ปัญหาด้านการเสียรูปและความเค้นเป็นต้น

การคำนวณหาค่าอื่นๆที่เหลือ จากนั้นจึงเป็นการหาค่าอื่นๆที่ผู้ใช้ต้องการทราบเพื่อที่จะทำให้ปัญหานั้นได้รับการวิเคราะห์โดยสมบูรณ์ เช่นเมื่อทราบอุณหภูมิโดยตำแหน่งต่างๆ แล้วก็สามารถคำนวณหาปริมาณฟลักซ์ความร้อนที่ไหลผ่านได้ หรือเมื่อทราบค่าของการเคลื่อนตัวแล้วก็สามารถคำนวณหาค่าความเค้นได้เช่นกัน เป็นต้น

2.24.3 กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์อิลิเมนต์ซอฟแวร์

กระบวนการแก้ปัญหาด้วยไฟไนต์อิลิเมนต์ซอฟแวร์ประกอบด้วยขั้นตอนใหญ่ๆ เพียง 3 ขั้นตอนดังนี้

1. กระบวนการขั้นต้น กระบวนการขั้นต้น (pre – processor) คือการสร้างรูปแบบไฟไนต์อิลิเมนต์จากรูปร่างลักษณะที่แท้จริงของปัญหา จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตก่อนการวิเคราะห์ปัญหานั้น การสร้างรูปแบบไฟไนต์อิลิเมนต์อันประกอบด้วยอิลิเมนต์จำนวนมากบนรูปร่างลักษณะของปัญหาที่กำหนดมาให้นั้น ตามปรกติจะใช้เวลานานโดยเฉพาะอย่างยิ่งหากรูปร่างของปัญหาที่มีความซับซ้อน ผู้สร้างรูปร่างบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ควรมีประสบการณ์ในการใช้ซอฟแวร์นั้น ๆ มาสักระยะหนึ่ง จึงสามารถสร้างรูปแบบที่กำหนดให้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพได้ เริ่มตั้งแต่การสร้างจุด เส้นตรง เส้นโค้งต่าง ๆ รวมทั้งพื้นผิว โดยข้อมูลของจุด เส้นตรง เส้นโค้ง และพื้นผิวเหล่านี้จะถูกเก็บในรูปแบบของสมการทางเรขาคณิตในหน่วยความจำบนเครื่องคอมพิวเตอร์นั้น เพื่อผู้ใช้สามารถสร้างอิลิเมนต์ทั้งขนาดและจำนวนต่าง ๆ กันได้ โดยรูปแบบของไฟไนต์อิลิเมนต์ที่เกิดขึ้นยังเสมือนรูปร่างต้นแบบของจริงมากที่สุด รูปแบบของไฟไนต์อิลิเมนต์นี้ยังประกอบด้วยหมายเลขของจุดต่อ หมายเลขของอิลิเมนต์และข้อมูลอื่น ๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในกระบวนการขั้นวิเคราะห์ต่อไป รายละเอียดต่าง ๆ จำนวนมากเหล่านี้ปกติจะไม่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ยกเว้นผู้ใช้ต้องการให้แสดงเพื่อการตรวจสอบหลังจากการสร้างรูปแบบไฟไนต์อิลิเมนต์ได้เสร็จสิ้นลงแล้ว ผู้ใช้จำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขขอบเขตอันอาจจะประกอบไปด้วย การกำหนดค่าให้กับบางจุดต่อของรูปแบบไฟไนต์อิลิเมนต์นั้นเงื่อนไขขอบเขตเหล่านี้จำเป็นต้องเหมือนหรือใกล้เคียงกับของจริงให้มากที่สุดจึงจะนำไปสู่ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับความเป็นจริง

2.กระบวนการวิเคราะห์ ข้อมูลต่าง ๆ ของรูปแบบไฟไนต์อิลิเมนต์ที่สร้างขึ้นและเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ในขั้นตอนแรก จะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ (analysis) ด้วยไฟไนต์อิลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งฝังตัวอยู่แล้วในซอฟแวร์ชุดนี้ โดยไฟไนต์อิลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสร้างสมการไฟไนต์อิลิเมนต์ที่สอดคล้องกับปัญหานั้นสำหรับทุก ๆ อิลิเมนต์ ก่อนที่จะนำมาประกอบกันเข้าขึ้นเป็นระบบสมการขนาดใหญ่แล้วจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้ จากนั้นจึงแก้ระบบสมการรวมขนาดใหญ่นั้นโดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับจำนวนอิลิเมนต์ทั้งหมดซึ่งผู้ใช้ได้สร้างขึ้นและระบบสมการรวมขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้น หากสมการเชิงอนุพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบเชิงเส้น (linear partial differential equation) ระบบสมการรวมนี้จะถูกแก้เพียงครั้งเดียวทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้นไม่มากนักแต่หากสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้นอยู่ในรูปแบบไม่เชิงเส้น (nonlinear) ระบบสมการรวมนี้จะถูกแก้ด้วยการวนซ้ำ (iteration) หลายรอบทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้นนานมากขึ้น โดยเฉพาะหากรูปแบบไฟไนต์อิลิเมนต์ประกอบด้วยอิลิเมนต์จำนวนมาก ดังนั้นหากผู้ใช้ซอฟแวร์สำเร็จรูปมีความเข้าถึงองค์ความรู้พื้นฐานภายในระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์บ้าง ก็จะช่วยในการตัดสินใจสิ่งต่าง ๆ ก่อนทำการวิเคราะห์ได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะสามารถทุ่นเวลาในการคำนวณลงไปได้มากทีเดียว

3.กระบวนการขั้นท้าย ผลลัพธ์ที่เกิดจากการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่แล้วจะประกอบด้วยตัวเลขเป็นจำนวนมาก ซึ่งจำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์กราฟิก(computer graphics) โดยเฉพาะกราฟิกสีเพื่อแสดงตัวเลขจำนวนมากเหล่านี้ออกมาบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว กระบวนการขั้นท้าย (post - processor)นี้จึงมีความจำเป็นเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งรูปแบบของการแสดงผลลัพธ์นั้นมีหลายชนิด นับตั้งแต่การแสดงด้วยแถบชั้นสี (fringe plot) การแสดงด้วยเส้นชั้นสี (contour lines) การแสดงด้วยเวกเตอร์ (vector plot) เป็นต้นทั้งบนรูปทรงดั้งเดิมหรือบนรูปทรงที่เสียรูปไปแล้ว ดังนั้นความเข้าใจในผลลัพธ์อันเป็นผลจากรูปทรงที่ได้ออกแบบไปบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้โดยตรงอย่างรวดเร็วจะทำให้ผู้ออกแบบเข้าใจในปัญหานั้นได้อย่างลึกซึ้งมากยิ่งขึ้นและอาจก่อให้เกิดแนวคิดในการปรับเปลี่ยนรูปทรงนั้น เพื่อก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้นไปอีก กระบวนการดังกล่าวนี้เองที่ช่วยลดเวลาในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ ลงไปได้มากในปัจจุบัน และสามารถหลีกเลี่ยงการลองผิดลองถูกที่เคยใช้กันในอดีตไปจนเกือบสิ้นเชิง

ในการทำโครงงานนี้เป็นการขึ้นรูปแบบเย็น (cold working) จึงจัดเป็นปัญหาของแข็งแบบยืดหยุ่นได้ (elasticity problems) นับได้ว่าเป็นปัญหาชนิดแรกๆที่ถูกวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุหลักที่ว่า งานออกแบบเพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรมในยุคก่อนล้วนเกี่ยวข้องกับโครงสร้างที่มีรูปร่างซับซ้อนตำราเรียนด้านระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ในรุ่นแรกๆ จึงมักแสดงกระบวนการขั้นตอนเพื่อใช้แก้ปัญหาทางด้านของแข็งเสียเป็นส่วนใหญ่

บทนี้อธิบายทฤษฎีระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์เพื่อแก้ปัญหาพื้นฐานของของแข็งแบบยืดหยุ่นได้ในสองมิติ โดยเริ่มจากการแสดงสมการเชิงอนุพันธ์ของความสมดุลในแผ่นระนาบรูปร่างลักษณะใดๆ การประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตชนิดต่างๆการประดิษฐ์สมการไฟไนต์อิลิเมนต์ที่สอดคล้องกัน พร้อมกับไฟไนต์อิลิเมนต์เมทริกซ์ซึ่งนำไปใช้ในการประดิษฐ์ต่อเนื่องขึ้นเป็นไฟไนต์อิลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง โปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ได้ฝังตัวอยู่ในซอฟแวร์ EasyFEM ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาที่มีรูปร่างลักษณะซับซ้อนเช่นใดก็ได้

2.24.4 สมการเชิงอนุพันธ์

สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยซึ่งแสดงความสมดุลของแรงในแนวแกน x และ y บนแผ่นระนาบ เมื่อไม่คิดน้ำหนักของตัวเอง ดังแสดงในรูปที่ 3.1

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial_y} = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial_x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial_y} = 0 \qquad (2.11)$$

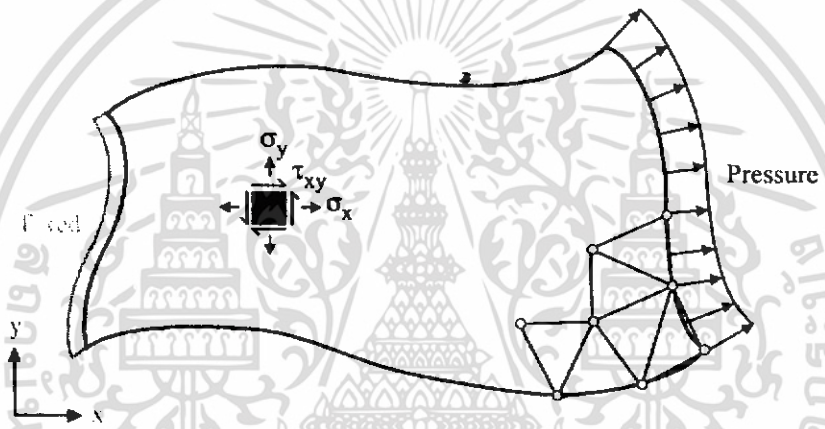
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย σ_x และ σ_y แทนค่าความเค้นฉาก (normal stress) ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ

ส่วน τ_{xy} แทนค่าความเค้นเฉือน (shearing stress)

ในกรณีของแผ่นบางซึ่งเป็นปัญหาความเค้นในระนาบ (plane stress) ค่าความเค้น σ_z ในแนวตั้งฉากกับแผ่นถูกสมมติให้เป็นศูนย์ ส่วนค่าความเค้นย่อยต่างๆ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของค่าความเครียดย่อย (strain components) ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} \qquad (2.12)$$



รูปที่ 2.17 โดเมนและเงื่อนไขขอบเขตของแผ่นระนาบ

โดย E แทนค่าโมดูลัสของยังส์ (Young's modulus)และ ν แทนค่าอัตราส่วนปัวส์ซอง (Poisson' ratio)และ $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ แทนค่าความเค้นฉาก (normal stain) ในแนวแกน x และ y ตามลำดับ และ γ_{xy} แทนค่าความเครียดเฉือน

ค่าความเครียดย่อยเหล่านี้เขียนให้อยู่ในรูปแบบของค่าการเสียรูป u และ v ในแนวแกน x และ y ได้คือ

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \; ; \; \varepsilon_y = \frac{\partial_v}{\partial_y} \qquad (2.13)$$

และ $$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งหมายถึงว่า ตัวไม่รู้ค่าในปัญหาแผ่นระนาบมีเพียงสองค่าคือ u และ v เมื่อทราบค่า u และ v แล้วจึงสามารถนำไปคำนวณหาค่าความเครียดและความเค้นย่อยต่างๆได้ตามลำดับ เหตุผลนี้เองทำให้สมการเชิงอนุพันธ์ (2.11) ของปัญหาแผ่นระนาบประกอบด้วยสองสมการย่อย แต่มักเขียนแสดงในรูปแบบของค่าความเค้นย่อยเพื่อความสะดวกและความสั้นกะทัดรัดในตัวเอง

อนึ่ง สำหรับปัญหาที่ค่าความเครียดในแนวแกน z ถูกสมมติให้มีค่าเป็นศูนย์ (plane strain) สมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (2.11) และสมการ (2.13) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดย่อยและค่าการเสียรูปยังคงใช้ได้เช่นเดิมยกเว้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นย่อยและความเครียดย่อยดังแสดงในสมการ (2.12) ต้องเปลี่ยนมาเป็น

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \qquad (2.14)$$

ดังนั้นผู้วิเคราะห์จึงจำเป็นต้องตระหนักถึงชนิดของปัญหาก่อนทำการวิเคราะห์ว่าเป็นแบบ plane stress หรือแบบ plane strain ซอฟแวร์ EasyFEM จะให้ผู้วิเคราะห์เลือกชนิดของปัญหาก่อนทำการวิเคราะห์ทุกครั้ง

สำหรับเงื่อนไขขอบเขตโดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 2.21 ประกอบด้วย การยึดแน่น (fixed) และปล่อยอิสระ (free) ตลอดขอบต่างๆรวมทั้งอาจกำหนดแรงดัน (pressure) ซึ่งแทนแรงที่กระทำกับพื้นที่ตลอดขอบนั้นๆ อนึ่ง ผู้ใช้ซอฟแวร์ควรระมัดระวังที่จะไม่ประยุกต์แรงเดี่ยว (consentrated force) ณ เพียงจุดใดจุดหนึ่งสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาในทางปฏิบัติเพราะจะทำให้ค่าความเค้นในบริเวณนั้นสูงขึ้นไปไม่มีที่สิ้นสุดหลังจากพยายามลดขนาดของอิลิเมนต์ลง

2.24.5 สมการไฟไนต์อิลิเมนต์

สมการไฟไนต์อิลิเมนต์ สามารถประดิษฐ์ขึ้นได้โดยตรงจากสมการเชิงอนุพันธ์ 2.11) โดยการประยุกต์ระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง ก่อให้เกิดสมการในรูปแบบของ อินทิกรัล บนพื้นที่ของอิลิเมนต์จากการเลือกใช้อิลิเมนต์ชนิดต่างกันจะนำไปสู่ไฟไนต์อิลิเมนต์เมทริกซ์ ในรูปแบบที่ต่างกันไป อิลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมอันประกอบไปด้วยสามจุดต่อดังแสดงในรูปที่ 2.22 จัดได้ว่าเป็นอิลิเมนต์พื้นฐานที่ก่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่ายรวมทั้งสะดวกในการประดิษฐ์สมการไฟไนต์อิลิเมนต์และอิลิเมนต์เมทริกซ์ที่สอดคล้องกันด้วย

รูปที่ 2.18 อิลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบ 3 จุดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการกระจายของค่าการเสียรูป u และ v บนอิลิเมนต์ถูกสมมติให้อยู่ในรูปแบบแผ่นเรียบคือ

$$U(x,y) = N_1u_1 + N_2u_2 + N_3u_3 \quad (2.15ก)$$

$$V(x,y) = N_1v_1 + N_2v_2 + N_3v_3 \quad (2.15ข)$$

โดย N_i, i = 1, 2, 3 แทนฟังก์ชั่นการประมาณภายในอิลิเมนต์ซึ่งคือ

$$N_i(x,y) = \frac{1}{2A}(a_i + b_i + c_iy) \quad (2.16)$$

และ A แทนพื้นที่ของอิลิเมนต์สามเหลี่ยม ส่วน a_i, b_i, c_i นั้นขึ้นอยู่กับโคออดิเนต x_i และ y_i ที่จุดต่อ i ดังมีรายละเอียดแสดงในสมการที่2.17-2.18 ค่าพื้นที่และค่าสัมประสิทธิ์สามารถคำนวณได้โดยตรงจากตำแหน่งของจุดต่อซึ่งเกิดขึ้นหลังจากสร้างรูปแบบไฟไนต์อิลิเมนต์แล้ว

$$A = \frac{1}{2}[x_1(y_2-y_3) + x_2(y_3-y_1) + x_3(y_1-y_2)] \quad (2.17)$$

โดยสัมประสิทธิ์

$$\begin{aligned} a_1 &= x_2y_3 - x_3y_2 & b_1 &= y_2 - y_3 & c_1 &= x_3 - x_2 \\ a_2 &= x_3y_1 - x_1y_3 & b_2 &= 3_3 - y_1 & c_2 &= x_1 - x_3 \\ a_3 &= x_1y_2 - x_2y_1 & b_3 &= y_1 - y_2 & c_3 &= x_2 - x_1 \end{aligned} \quad (2.18)$$

หลังจากประยุกต์ระเบียบวิธีถ่วงน้ำหนักเศษตกค้างเข้ากับสมการเชิงอนุพันธ์ (2.11) และใช้การกระจายของการเสียรูปสำหรับแต่ละอิลิเมนต์ตามสมการ(2.15-2.16) ก่อให้เกิดสมการไฟไนต์อิลิเมนต์ดังนี้

$$\underset{(6\times6)(6\times1)}{[K]\{\delta\}} = \underset{(6\times1)}{\{F\}} \quad (2.19)$$

โดย $[K]$ แทนเมทริกซ์ของการแข็งเกร็ง

$$\underset{(6\times6)}{[K]} = \underset{(6\times3)(3\times3)(3\times6)}{[B]^T [C] [B]}\ tA \quad (2.20)$$

เมทริกซ์ $[B]$ แทนเมทริกซ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดและค่าการเสียรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

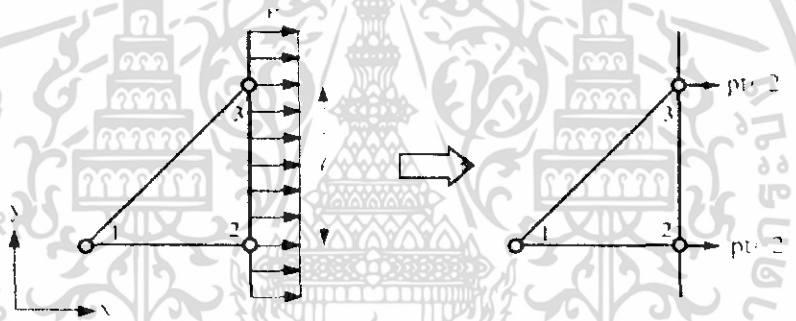
$$[K] = \frac{1}{2A}\begin{bmatrix} b_1 & 0 & b_2 & 0 & b_3 & 0 \\ 0 & c_1 & 0 & c_2 & 0 & c_3 \\ c_1 & b_1 & c_2 & b_3 & c_3 & b_3 \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

เมทริกซ์ $[C]$ แทนเมทริกซ์ขนาด 3 x 3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดดังแสดงในสมการ (2.12)หรือ (2.14) สำหรับกรณี plane stress หรือ plane strain ตามลำดับ ส่วน t แทนค่าความหนาของแผ่นระนาบในกรณี plane stress และกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 ในกรณีของ plane strain

เวกเตอร์ $\{\delta\}$ในสมการไฟไนต์อิลิเมนต์(2.19) ประกอบด้วยค่าการเสียรูป u และ v ที่จุดต่อทั้งสาม

$$\lfloor \delta \rfloor = \lfloor u_1 \quad v_1 \quad u_2 \quad v_2 \quad u_3 \quad v_3 \rfloor \quad (2.22)$$

ส่วนเวกเตอร์ $\{F\}$ ทางด้านขวาของสมการแสดงถึงโหลดเวกเตอร์ซึ่งเกิดขึ้นจากแรงดันที่กำหนดให้ตามขอบ ยกตัวอย่างเช่นอิลิเมนต์ในรูปที่ 2.23 มีจุดต่อหมายเลข 2 และ 3 บนขอบที่ตั้งฉากกับแนวแกน x และหากขอบนี้ถูกกระทำด้วยแรงดึงต่อพื้นที่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ p แล้ว



รูปที่ 2.19 การเปลี่ยนแปลงแรงดึงตลอดขอบเขตไปสู่จุดต่อ

ส่วนเวกเตอร์ $\{F\}$ ของอิลิเมนต์ที่อยู่ติดกับขอบดังแสดงในรูปที่ 2.23 คือ

$$\lfloor F \rfloor = \lfloor 0 \quad 0 \quad ptl/2 \quad 0 \quad ptl/2 \quad 0 \rfloor \quad (2.23)$$

เป็นต้น อนึ่งหากขอบที่มีแรงต่อพื้นที่มากระทำนี้เอียงโดยไม่ได้ตั้งฉากกับแกน x หรือ y หลักการขั้นต้นนี้ยังสามารถมาประยุกต์ใช้ได้ในทำนองเดียวกัน

หลังจากสมการไฟไนต์อิลิเมนต์ของแต่ละอิลิเมนต์ได้ถูกสร้างขึ้นแล้วจึงนำสมการเหล่านี้มารวมกันเข้าทั้งหมดก่อให้เกิดระบบสมการรวมซึ่งมีขนาดใหญ่จากนั้นจึงประยุกต์เงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดมาให้สำหรับปัญหานั้นๆ เช่น บางจุดต่ออาจถูกตรึงแน่นทั้งในแนวแกน x และ y หรือบางจุดต่ออาจถูกตรึงในแนวแกน y เพียงทิศทางเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ยังสามารถเคลื่อนตัวในแนวแกน x ได้เป็นต้น ลงในระบบสมการรวมใหญ่นั้น ก่อนแก้สมการรวมทั้งระบบนั้น เพื่อหาค่าการเสียรูป u และ v ของทุกๆจุดต่อ

เมื่อทราบการเสียรูป u และ v ของทุกๆ จุดต่อแล้วจึงหาค่าความเครียดย่อย ε_x, ε_y, γ_{xy} โดยใช้สมการ 2.13 ผสมผสานกับสมการ 2.15 แล้วจึงหาค่าความเค้นย่อย $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ ของแต่ละอิลิเมนต์โดยใช้สมการ 2.12 หรือ 2.14 สำหรับกรณีของ plane stress หรือ plane strain ตามลำดับซึ่งค่าความเค้นย่อยนี้สามารถเขียนเป็นสมการสั้น ๆ ได้คือ

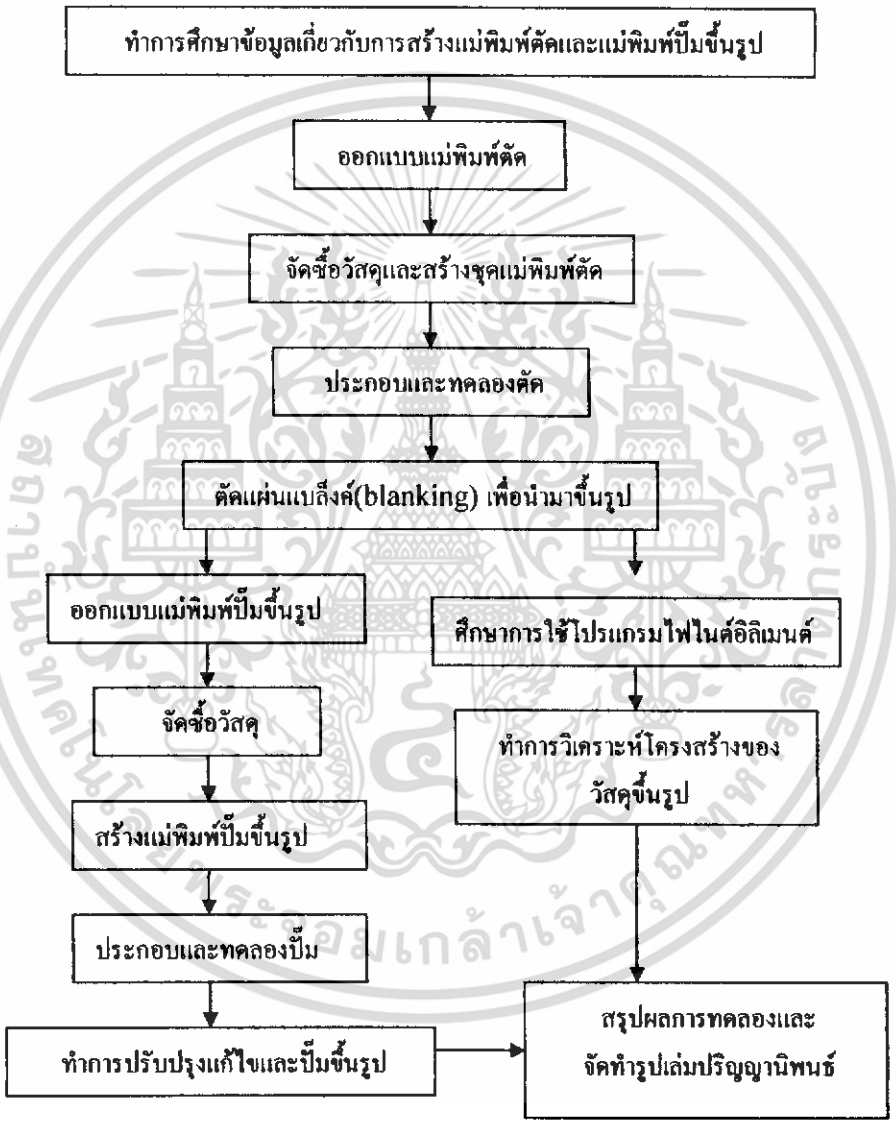
$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \underset{(3\times 3)}{[C]} \quad \underset{(3\times 6)}{\{B\}} \quad \underset{(6\times 1)}{\{\delta\}} \tag{2.24}$$

อนึ่ง ค่าความเค้นย่อยที่คำนวณได้จากสมการ (2.24) นี้มีค่าคงที่สำหรับแต่ละอิลิเมนต์ ค่าซึ่งคงที่สำหรับแต่ละอิลิเมนต์อาจกระจายไปยังที่จุดต่อต่าง ๆ เพื่อการแสดงผลให้ดูเหมาะสมสอดคล้องกับความเป็นจริงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
แผนการดำเนินงานและการออกแบบ

3.1 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 รูปแผนการดำเนินงาน

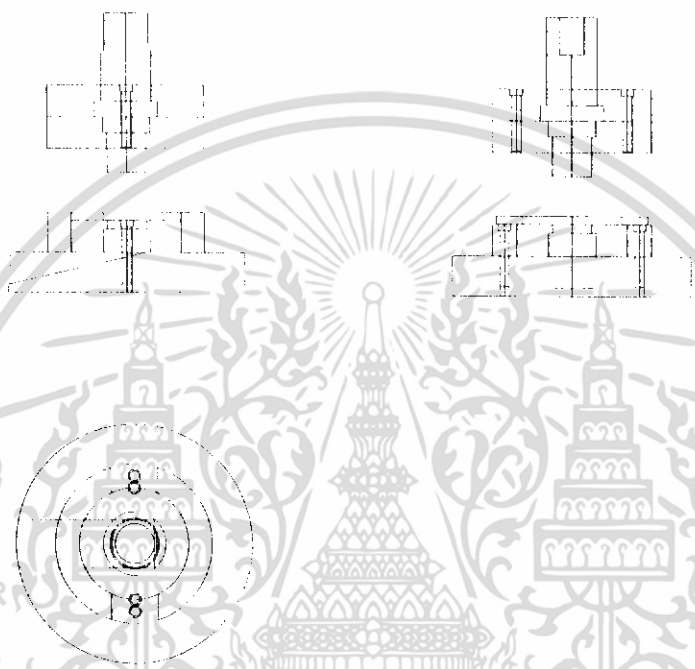
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบ

การออแกแบบได้แบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. ชุดแม่พิมพ์ตัด
2. ชุดแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปเหรียญ

3.2.1 ชุดแม่พิมพ์ตัด



รูปที่ 3.2 แบบแม่พิมพ์ตัด

ในการออกแบบแม่พิมพ์ตัวตัดมีการคำนวณหาค่าต่างๆดังนี้

- คำนวณแรงที่ทำกับวัสดุชิ้นงาน

  แรงของเครื่องเพรส 3 ตัน

  $$3{,}000 \text{ kg.} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 29{,}430 \text{ N}$$

- คำนวณแรงต้านทานการตัดเฉือนของวัสดุ

  $$Fs = ks\,\pi\,d\,t \qquad (N)$$

  $$= 160 \text{ N/mm}^2 \times \pi \times 25 \text{ mm.} \times 2 \text{ mm.}$$

  $$= 25{,}132 \text{ N}$$

เมื่อ ks คือ ความต้านทานการตัดเฉือน (N/mm^2)

ds คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหรียญ (mm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

t คือ ความหนาของเหรียญ (mm.)

- คำนวณช่วงระยะห่างระหว่างพั้นช์กับดาย (clearance)

$$SP = (1/75)t\sqrt{\frac{\tau_s}{10}}$$

$$= (1/75)2\sqrt{\frac{160}{10}}$$

$$= (1/75)2(4)$$

$$= 0.1067 \text{ mm.}$$

เมื่อ t คือ ความหนาของเหรียญ (mm.)

τ_s คือ ความต้านทานการตัดเฉือน (N/mm^2)

- คำนวณหาขนาดของพั้นช์และดาย

จากการที่เราต้องการนำเอาแผ่นแบล็งค์มาใช้เป็นวัสดุขึ้นรูปนั้นจะต้องกำหนดให้ขนาดของดายเท่ากับขนาดของแผ่นแบล็งค์แล้วลดขนาดของพั้นช์ลง โดยขนาดของแผ่นแบล็งค์ที่นำมาใช้งานมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 25 mm.

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของพั้นช์ 25 - 0.1067 = 24.833 mm.

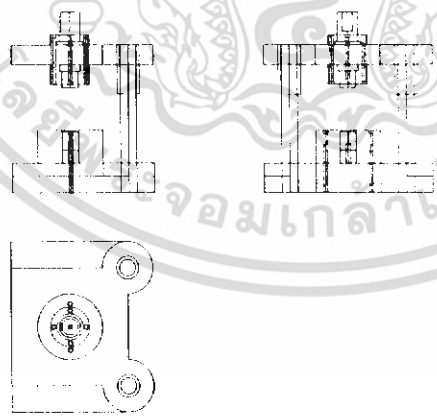
- คำนวณหาความหนาของคมตัด

ความหนาคมตัดจากมาตรฐานการออกแบบแม่พิมพ์ตัดนั้น จะอยู่ที่ประมาณ 2-3 เท่าของความหนาของแผ่นสตริป ในที่นี้แผ่นสตริปมีความหนา 2 mm. จะได้ความหนาของคมตัดอยู่ที่ 4-6 mm.จึงเลือกใช้ความหนาของคมตัดที่ 5 mm.

- คำนวณหาความหนาของพันช์เพลทและดายเพลท

โดยหาตามความเหมาะสมของการสร้างแม่พิมพ์

3.2.2 ชุดแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปเหรียญ



รูปที่ 3.3 แบบแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบแม่พิมพ์ตัวปั๊มเหรียญนี้มีการคำนวณหาค่าต่างๆดังนี้

- คำนวณหาแรงที่ใช้ปั๊มขึ้นรูป
- คำนวณหาแรงต้านทานการไหลของวัสดุ
- คำนวณหาขนาดของพั้นช์และดาย
- คำนวณหาความหนาของพั้นช์เพลทและดายเพลท
- คำนวณแรงของสปริง
- คำนวณหาพื้นที่จับยึด

3.3 รายละเอียดการทำงาน

3.3.1 การจัดสร้างแม่พิมพ์ตัด

เป็นขั้นตอนการเตรียมชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ก่อนที่ประกอบและทดลองตัดแผ่นแบล็งค์

- เก็บข้อมูลทางด้านคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาจัดสร้างแม่พิมพ์และขึ้นรูป
- คำนวณหาความต้องการใช้วัสดุ
- สั่งซื้อวัสดุที่ใช้ในการสร้างและขึ้นรูป
- จัดทำพั้นช์โฮลด์เดอร์
- จัดทำดายโฮลด์เดอร์
- จัดทำแชงค์
- จัดทำพั้นช์เพลท
- จัดทำดายเพลท
- จัดทำพั้นช์
- จัดทำดาย
- นำชิ้นส่วนต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกัน
- ทำการทดลองตัดและปรับปรุงแก้ไข

3.3.2 จัดสร้างแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปเหรียญ

เป็นขั้นตอนการเตรียมชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ก่อนที่ประกอบและทดลองปั๊มขึ้นรูปเหรียญ

- สั่งซื้อวัสดุเพิ่มเติม
- จัดทำพั้นช์เพลท
- จัดทำดายเพลท
- จัดทำพั้นช์
- จัดทำดาย
- จัดทำแชงค์
- ประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดเข้ากับดายเซท
- ทดลองปั๊มขึ้นรูปและทำการปรับปรุงแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการจัดทำพั้นช์นั้น ใช้เครื่อง EDM ในการกัดขึ้นลายโยการสร้างลายที่ขั้วอิเล็กโทรดก่อนแล้วจึงนำมาติดตั้งบนเครื่อง EDM เพื่อที่จะทำการกัดพั้นช์และลายอีกครั้ง โดยการสร้างลายบนขั้วอิเล็กโทรดนั้น ทำได้โดยการตัดสติ๊กเกอร์แล้วนำไปติดที่หน้าตัดของขั้วอิเล็กโทรด จากนั้นนำไปกัดด้วยกรดเกลือ โดยการแช่ไว้ประมาณ 15 นาทีแล้วนำขึ้นมาตรวจระยะความลึกที่ต้องการแล้วจึงนำมาล้างให้สะอาดแล้วนำไปติดตั้งบนเครื่อง EDM ต่อไป (การใช้เครื่อง EDM ดูภาคผนวก ค.)

3.4 ทำการวิเคราะห์โครสร้างของโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์อย่างง่าย

เนื่องจากโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์อย่างง่ายนี้เป็นโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์ในสองมิติ เราจึงวิเคราะห์ได้เพียงที่หน้าตัดของวัสดุชิ้นงานอลูมิเนียม ตามแนวแกน x และ y เท่านั้นโดย การวิเคราะห์จะบอกค่า ความเค้นและความเครียดของวัสดุ เป็นโซนสีต่างๆ ตามลำดับ ซึ่งเราสามารถนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์หาแนวโน้มการเกิดความเสียหายของชิ้นงานอลูมิเนียม เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขต่อไป

โปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์อย่างง่ายเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้งานง่ายเพียงป้อนค่าต่าง ๆ ที่ต้องการลงไปแล้วทำการสร้างโมเดลและทำการวิเคราะห์ผลซึ่งมีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของของวัสดุด้วยการขึ้นรูปแบบเย็น เป็นการวิเคราะห์เป็นปัญหาของแข็งซึ่งต้องการค่าต่อไปนี้ ค่าโมดูลัสของยังส์ ของอลูมิเนียม 68 x 10^9 N/m^2 และค่าอัตราส่วนปัวส์ซอง 0.33 ใส่ลงไปในกล่องสนทนาแล้วคลิก OK เพื่อทำการสร้างโมเดล

2. การสร้างโมเดลสำหรับปัญหานี้จะใช้คำสั่ง Create > Line เพื่อสร้างรูปร่างหน้าตัดของเหรียญที่เราจะทำการวิเคราะห์

3. ทำการกำหนดขอบเขตของโดเมนที่จะทำการวิเคราะห์ โดยใช้คำสั่ง Mesh > Define Boundary และคลิกปุ่มคำสั่ง Select All เพื่อเลือกเส้นขอบของโมเดลทั้งหมด แล้วคลิกปุ่มคำสั่ง OK

4. สร้างอิลิเมนต์สามเหลี่ยมแบบมีระเบียบโดยใช้คำสั่ง Mesh > Structured Mesh กรอกค่าต่างๆ ลงไปและกำหนดขนาดของอิลิเมนต์ ในครั้งนี้ใช้ขนาด 0.75 mm.

5. กำหนดภาระแรงโดยใช้คำสั่ง Create > Load > On Node และจุดรองรับโดยใช้คำสั่ง Create > Constraint > On Node และกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบยึดแน่นโดยการคลิกปุ่มคำสั่ง Fixed และคลิก OK

6. ทำการบันทึกและประมวลผล

3.5 สรุปผลการดำเนินงาน

เมื่อได้ทำการปั๊มขึ้นรูปเหรียญแล้ว นำผลที่ได้ต่างๆ มาสรุปผลเพื่อทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงานการสร้างแม่พิมพ์

ในการสร้างแม่พิมพ์ได้แบ่งการสร้างแม่พิมพ์ออกเป็นสองตัวด้วยกันคือ แม่พิมพ์ตัดและแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ ได้ผลการดำเนินงานดังนี้

4.1.1 ชุดแม่พิมพ์ตัด

ได้ดำเนินการออกแบบแม่พิมพ์ตัดโดยการออกแบบแม่พิมพ์นั้น เป็นการออกแรงตัดเพียงครั้งเดียวได้ชิ้นงาน 1 ชิ้น เมื่อตัดเสร็จชิ้นงานจะไหลออกมาตามช่องออก และในแม่พิมพ์ตัวตัดนี้ มีพื้นที่ในการตัดเพียงเล็กน้อย จึงไม่ได้ออกแบบให้มีเสานำศูนย์ ระยะเคลียแร้นซ์ที่ได้อาจจะคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

รูปที่ 4.1 แชงค์เมื่อประกอบเข้ากับพั้นช์โฮลด์เดอร์

รูปที่ 4..2 พั้นช์เมื่อประกอบเข้ากับพั้นช์เพลท

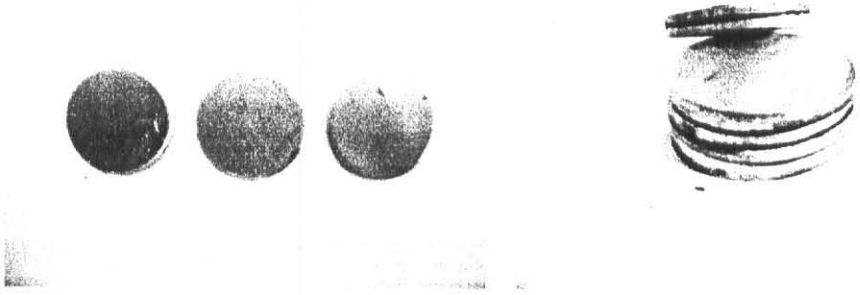
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 คายเมื่อประกอบเข้ากับคายเพลท

รูปที่ 4.4 คายเละคายเพลทเมื่อยึดเข้ากับคายโฮลด์เดอร์

รูปที่ 4.5 ชุดแม่พิมพ์ตัด

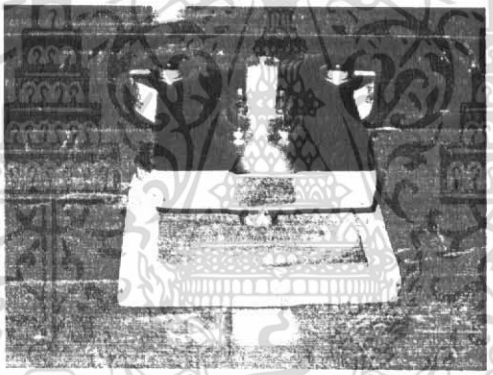
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ชิ้นงานอลูมิเนียมที่ตัดเสร็จแล้ว

4.1.2 ชุดแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปเหรียญ

ในส่วนของแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปเหรียญนั้น จัดทำโดยใช้แบบดายเซทสำเร็จรูปเข้ามาประกอบ แล้วออกแบบเพิ่มเติมในส่วนของพั้นช์ และดาย และส่วนอื่นๆ ซึ่งในส่วนนี้ต้องออกแบบไว้เผื่อกันดันเหรียญออกจากตัวดายด้วย ในการดันเหรียญออกจากตัวดาย เราใช้สปริงที่มีแรงดันที่ 2504 กิโลกรัมแรง (kgf) เพื่อเอาชนะแรงที่กระทำกับขอบผนังดายของเหรียญเนื่องจากการไหลของอลูมิเนียม



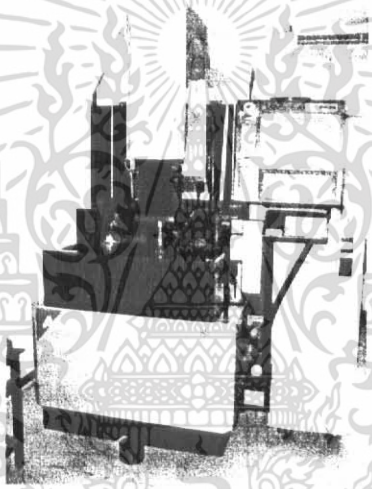
รูปที่ 4.7 ดายเซทสำเร็จรูป

รูปที่ 4.8 ดายเพลท

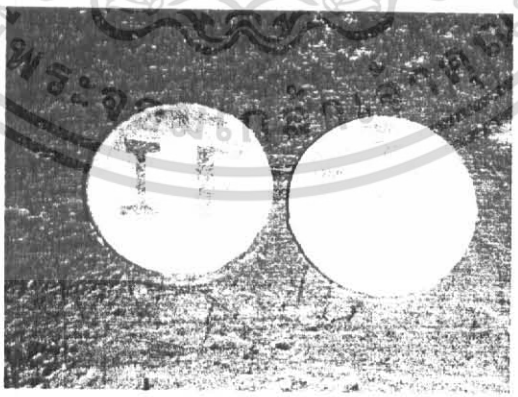
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำลายเหรียญนั้นเราใช้เครื่อง EDM ในการสปาร์คลายลงบนพั้นช์และดายมี โดยให้ทองแดงเป็นอิเล็คโทรดมีลายดังนี้

รูปที่ 4.9 ลายที่ใช้ในการทดลองบนขั้วอิเล็คโทรด



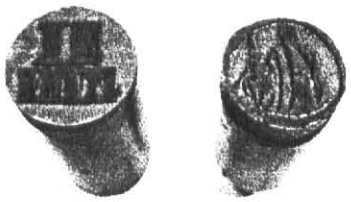
รูปที่ 4.10 เครื่องกัด EDM



รูปที่ 4.11 เหรียญที่ได้จากการทดลองปั๊มเพียงหน้าเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการขึ้นรูปจริงนั้น ทำการปั๊มขึ้นรูปทั้งสองหน้าโดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.12 ลายของเหรียญทั้งสองหน้าบนทองแดงขั้วอิเล็กโทรด

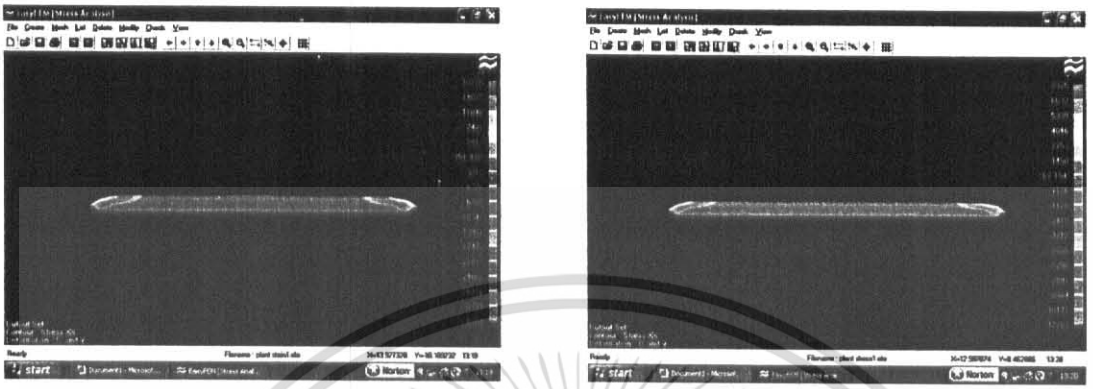
รูปที่ 4.13 ประกอบพั้นช์และดายเข้ากับแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ

รูปที่ 4.14 เหรียญที่ทำการปั๊มทั้งสองหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การวิเคราะห์โครงสร้างของเหรียญอลูมิเนียม

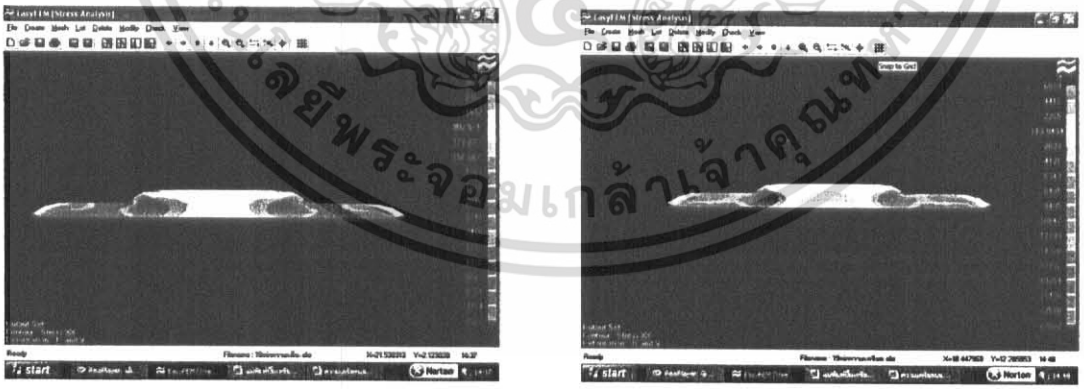
ในการวิเคราะห์โครงสร้างของเหรียญอลูมิเนียมนั้นใช้โปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์อย่างง่าย (Easy FEM) เป็นการวิเคราะห์ในสองมิติ เพราะฉะนั้นเราจึงวิเคราะห์ได้เพียงหน้าตัดของชิ้นงานเท่านั้นดังรูป



รูปที่ 4.15 ความเค้นและความเครียดบนแผ่นแบล็งค์

ในขั้นการทดลองปั๊ม เราปั๊มเพียงหน้าเดียวเพื่อหาระยะที่เราสามารถกดได้ลายที่เด่นชัดที่สุดและพั้นช์จะไม่ยันติด จนข้อเหวี่ยงของเครื่องเพรสไม่ทำงาน โดยใช้รูป ที่ 4.16 ในการวิเคราะห์

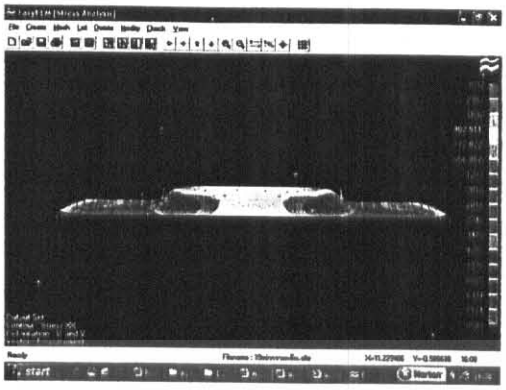
รูปที่ 4.16 ลายเหรียญที่ใช้ขึ้นรูป



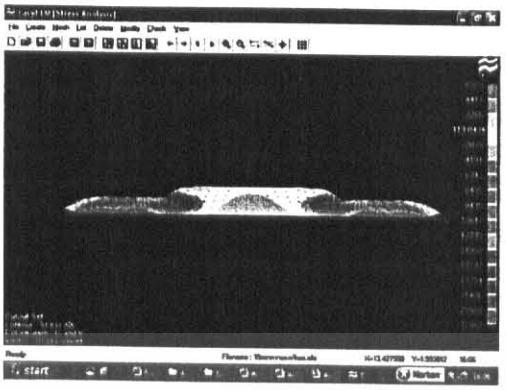
(ก) ความเค้น (ข) ความเครียด

รูปที่ 4.17 (ก) ความเค้น , (ข) ความเครียด บนแผ่นแบล็งค์จากการกดลงมา 0.1 มิลลิเมตรตัดตามแนวแกน y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

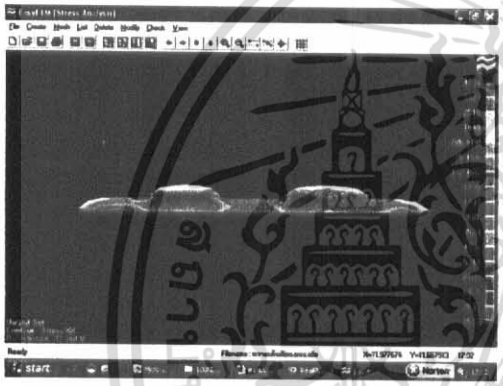


ก) ความเค้น



ข) ความเครียด

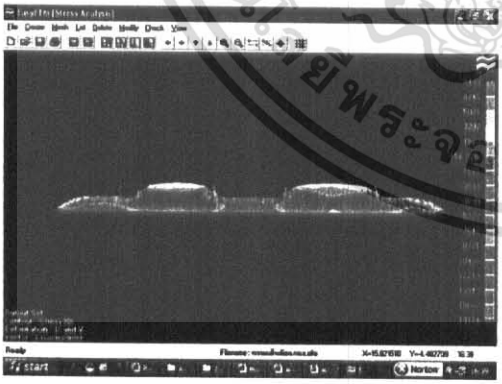
รูปที่ 4.18 เวคเตอร์ทิศทางการเคลื่อนที่ของอิลิเมนต์ตัดตามแนวแกน y



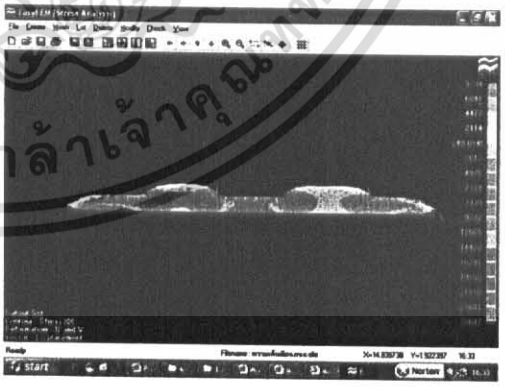
ก) ความเค้น

ข) ความเครียด

รูปที่ 4.19 ก)ความเค้น ข) ความเครียด บนแผ่นแบล็งค์จากการกดลงมาที่ระยะ 0.1 มิลลิเมตร ตัดตามแนวแกน x



ก) ความเค้น



ข) ความเครียด

รูปที่ 4.19 เวคเตอร์ทิศทางการเคลื่อนที่ของอิลิเมนต์ ตัดตามแนวแกน x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

แบ่งเป็นสามส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

แม่พิมพ์ตัด ในส่วนของแม่พิมพ์ตัดนี้สามารถสร้างแม่พิมพ์ตัดให้ออกมาตามแบบได้ สามารถตัดได้เหรียญ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 25 มิลลิเมตรตามที่กำหนดไว้ แต่รอยในการตัดนั้นยังไม่สม่ำเสมอ มีรอยครีบที่เนื่องจากการตัดอยู่เป็นบางส่วน

แม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปเหรียญ ในการปั๊มขึ้นรูปเหรียญนี้เราจะเห็นได้ว่าในการออกแบบมีข้อผิดพลาดมากเมื่อนำมาประกอบกับเครื่องเพรสแล้วพบปัญหามากมายเช่น ความสูงของชุดแม่พิมพ์มีขนาดเท่ากับช่วงระยะการทำงานของเครื่องเพรสทำให้ไม่มีพื้นที่ในการป้อนชิ้นงานเพื่อทำการขึ้นรูป และเมื่อแก้ไขจนสามารถทำการปั๊มได้แล้ว เราจะเห็นได้ว่า การปั๊มเหรียญเพียงหน้าเดียวนั้น จะมีลายที่เด่นชัดกว่า การปั๊มเหรียญสองหน้ามาก

ในการวิเคราะห์โครงสร้างของของเหรียญอลูมิเนียมด้วยโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์อย่างง่าย EasyFEM ในการทำงานครั้งแรก คือตัดแผ่นสตริปให้ได้ออกมาเป็นแผ่นแบลังค์นั้น เราจะเห็นได้ว่าความเค้นและความเครียดของอลูมิเนียมนั้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณขอบของแผ่นแบลังค์ ทำให้บริเวณนี้เป็นบริเวณที่เสี่ยงต่อการเสียหายได้มากที่สุด ส่วนการวิเคราะห์โครงสร้างของเนื้อวัสดุอลูมิเนียมสำหรับการปั๊มขึ้นรูปเหรียญเพียงหน้าเดียวนั้นจะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อทำการกด กระแทกลงไปเนื้อของวัสดุอลูมิเนียมที่บริเวณที่ถูกกดก็จะไหลไปยังบริเวณโพรงของพั้นช์และดายแทน ความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้น จะเกิดมากตรงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ในส่วนของบริเวณที่มีการเสียรูปมากที่สุด เป็นบริเวณที่มีโซนสีแดงนั่นเอง สำหรับการวิเคราะห์ที่การปั๊มขึ้นรูปทั้งสองหน้านั้นก็เช่นเดียวกันกับการวิเคราะห์เพียงหน้าเดียว

5.2 สรุปปัญหาจากการทดลอง

ปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถสรุปเป็นข้อๆได้ดังนี้

1. ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากระยะเคลียแร้นซ์ของแม่พิมพ์ตัวตัด ทำให้เกิดครีบบริเวณขอบเหรียญ
2. ปัญหาเนื่องจากการออกแบบที่ไม่สัมพันธ์กับเครื่องเพรสของแม่พิมพ์ตัวปั๊มเหรียญทำให้ต้องมีการปรับแก้ขนาด
3. ปัญหาเนื่องจากแรงของสปริงดันเหรียญ สปริงที่ใช้ในการดันเหรียญนั้นต้องมีแรงดันมากพอที่จะชนะแรงเนื่องจากการไหลตัวของอลูมิเนียมที่กระทำกับขอบดาย
4. ปัญหาเนื่องจากการไหลตัวของอลูมิเนียมไม่เต็มแบบที่ออกไว้ ทำให้ต้องมีการปั๊มหลายครั้ง
5. ปัญหาเนื่องจากการปรับระยะของพั้นช์และดาย ต้องเหมาะสมกับขนาดของกายยึดตัวขุบตัวของสปริงดันเหรียญ การกระแทกของพั้นช์และดาย และการขุบตัวของเหรียญอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปัญหาเนื่องจากการหมุนของคาย เนื่องจากการออกแบบไม่ได้ออกแบบให้มีการป้องกันการหมุนของคายไว้ทำให้เราต้องมีการตั้งมุมให้ตรงกันอยู่เสมอๆ
7. ปัญหาเนื่องจากการกัดลายเหรียญที่บนทองแดงที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดครด ถ้าเรากัดได้ไม่สวยงามลายที่ปรากฏบนพั้นช์และคายก็จะไม่สวยงามด้วยเช่นเดียวกัน
8. ปัญหาเนื่องจากการตั้งขั้วอิเล็กโทรดของเครื่องอีดีเอ็ม ถ้าเราไม่วัดระดับของการกัด ก็จะทำให้หัวพั้นช์และคายเกิดการเอียง และเมื่อนำมาประกอบเพื่อทำการปั๊มแล้ว ชิ้นงานเหรียญอลูมิเนียมที่ได้ก็จะไม่สวยงาม เพราะการเอียงนั้นทำให้การไหลของเนื้ออลูมิเนียมผิดไป
9. ปัญหาเนื่องจากการเป็นคลื่นของเหรียญจากการปั๊มที่ไม่เหมาะสมจำนวนครั้งที่ทำการกระแทกลงบนชิ้นงาน หนึ่งชิ้นต้องมีจำนวนที่เท่ากัน ทุกชิ้นลายที่ปรากฏจะได้ความคมชัดที่เท่ากัน

5.3 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทำโครงงาน พบว่าปัญหาส่วนใหญ่มาจากการออกแบบฉะนั้นถ้าเรามีการออกแบบที่ดีได้มาตรฐานและสัมพันธ์กันทุกส่วนประกอบก็ทำให้เมื่อประกอบแล้วเราไม่ต้องกลับมาปรับปรุงแก้ไขอีก สามารถทำการตัดหรือปั๊มได้เลย และปัญหาใหญ่ๆอีกข้อหนึ่งก็คืองานแม่พิมพ์อาศัยความละเอียดในการทำงานสูง ขนาดต้องมีความแน่นอน แต่ผู้จัดทำโครงงานยังขาดทักษะความสามารถบางอย่างเช่นการใช้เครื่องมือเครื่องจักรต่างๆ ขาดความแม่นยำไปในช่วงแรกๆ แต่เมื่อมีความชำนาญขึ้นปัญหาเหล่านี้จึงหมดไป ในการทำโครงงานครั้งนี้ยังสอนให้รู้อีกว่าการควบคุมราคาวัสดุต่างๆ มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับการทำงานจริง ถ้าเราไม่คำนวณวัสดุให้แน่นอน งบประมาณที่ใช้ในการสร้างแม่พิมพ์ก็จะมากเกินกำหนดด้วย การออกแบบลายปั๊มก็เป็นอีกปัญหาหลักที่พบกันมากสำหรับการทำโครงงานนี้ เนื่องจากชิ้นงานหรือเหรียญที่จะทำการปั๊มมีขนาดเล็ก จึงทำให้ลายที่จะปั๊มลงบนเหรียญนั้นต้องมีความเหมาะสมกับขนาดเหรียญด้วย ถ้าลายเหรียญมีขนาดเล็กมากในการกัดลายด้วยเครื่องอีดีเอ็มก็จะทำได้ยาก เพราะต้องการความละเอียดสูง แต่ถ้าหากลายมีความหยาบไปลายที่ปรากฏบนพั้นช์หรือคายก็จะไม่สวยงามตามไปด้วย แต่เราสามารถทำลายที่มีความละเอียดสูงมากๆ ได้โดยใช้เลเซอร์ยิงลงไปบนพั้นช์หรือคายได้แต่วิธีนี้มีต้นทุนในการทำสูงมากๆ ซึ่งวิธีที่เราทำอยู่นั้นไม่สามารถทำได้ การใช้กรดเกลือกัดลงบนทองแดงที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดนั้น ลายที่ได้ก็จะเป็นลายที่มีขนาดเหมาะสมกับชิ้นงานและมีรายละเอียดไม่สูงมากนัก จึงสามารถทำได้ง่ายและใช้งบประมาณในการทำน้อย สำหรับการไฟไนต์อิลิเมนต์นั้นเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันเพื่อทำนายความเสียหาย ความเค้นความเครียดต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนวัสดุเพื่อ เอาผลที่ได้ไปวิเคราะห์และหาทางหลีกเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับวัสดุที่จะผลิตขึ้นจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

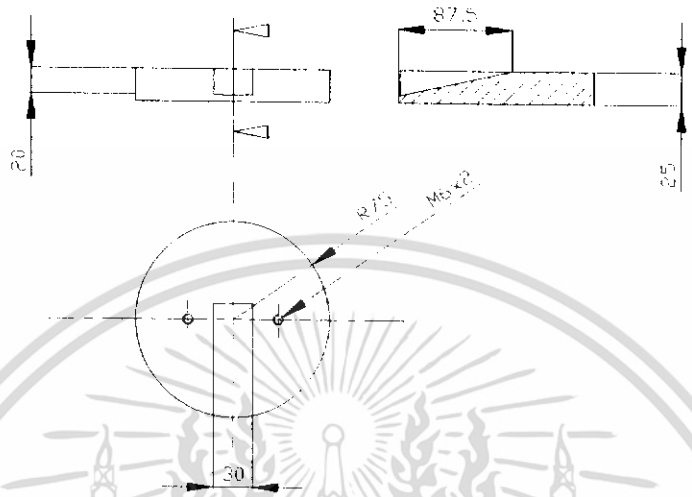
- เกษม เลิศรัตน์, มัทซึโอะ มิยากาวา ,2527. การทำแม่พิมพ์อัดโลหะแผ่น.กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ดวงกมล จำกัด.
- ชาญชัย ถนัดงาน และคณะ ,2533.คู่มือการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ขนาดเล็ก. กรุงเทพฯ : สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ ชมรมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย.
- ชาญชัย ถนัดงาน และคณะ ,2539. คู่มือการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ราคาถูกสำหรับงานเพรส. กรุงเทพฯ : มูลนิธิเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมและโลหะการ.
- ชาญชัย ทรัพยากร, ประสิทธิ์ สวัสดิสรรค์, วิรุฬ ประเสริฐวรนันท์,2538. การออกแบบแม่พิมพ์. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).
- บรรเลง ศรนิล, ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์,2526.ตารางงานโลหะ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าวิทยาเขตพระนครเหนือ.
- ปราโมทย์ เดชะอำไพ , สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพานิช,2548.ไฟไนต์อิลิเมนต์อย่างง่ายพร้อมซอฟแวร์.กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิวัฒน์ คันติขจรโกศล,2535.แม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่น .กรุงเทพฯ : สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะการ ชมรมอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ไทย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

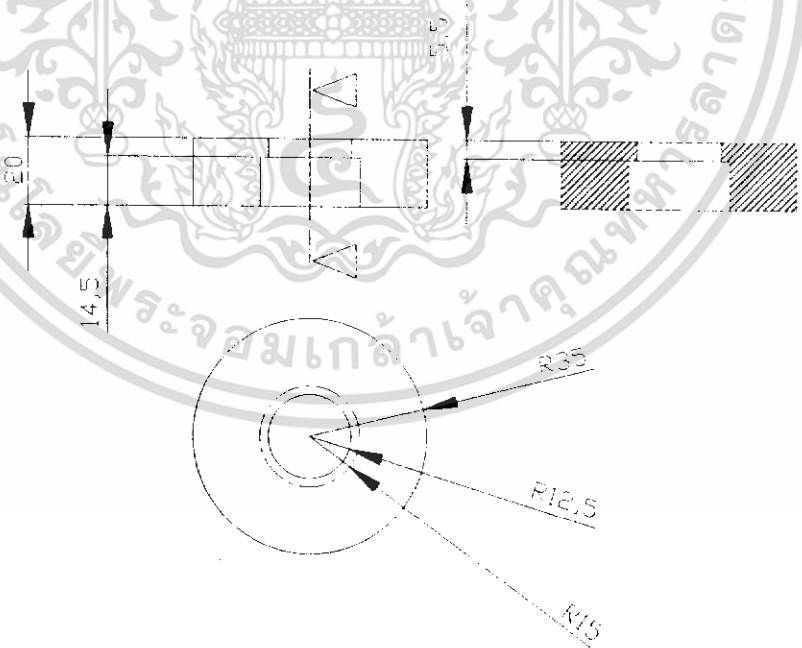
ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก (แบบแม่พิมพ์ตัด)

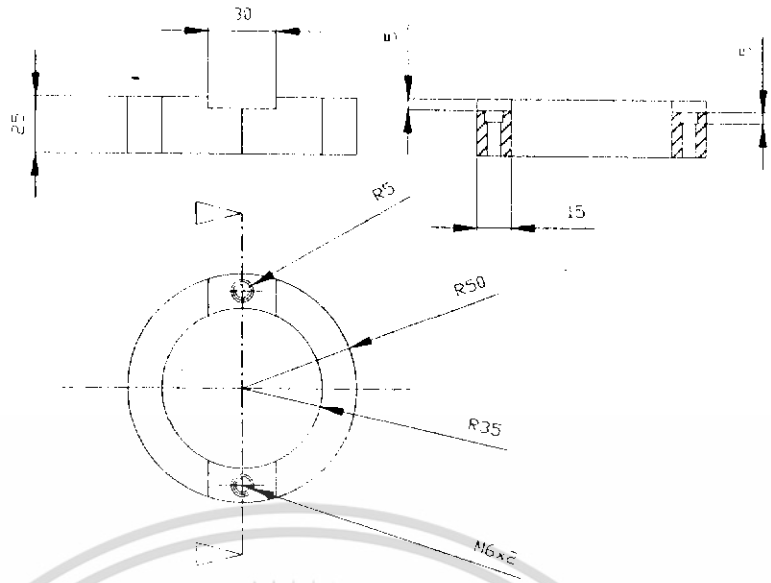


รูปที่ 1 แบบดายโฮลด์เดอร์แม่พิมพ์ตัด

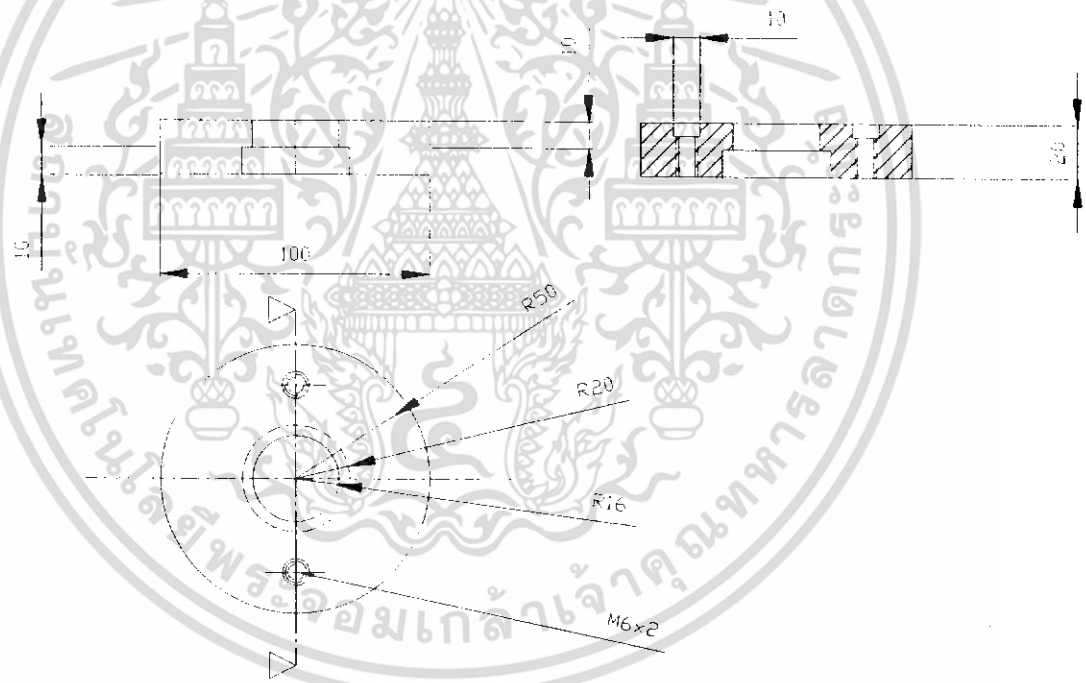


รูปที่ 2 ดายแม่พิมพ์ตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

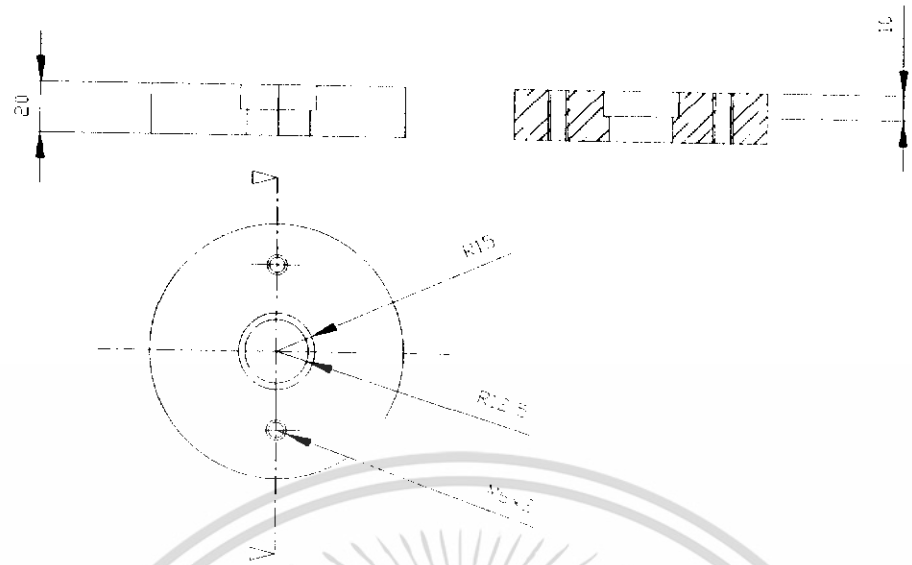


รูปที่ 3 ดายเพลทแม่พิมพ์ตัด

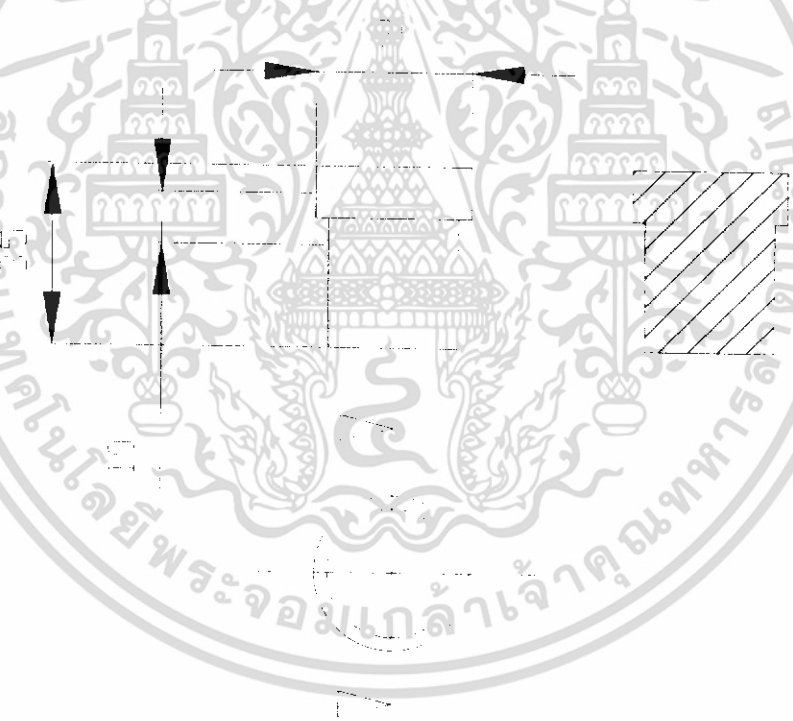


รูปที่ 4 พั้นช์โฮลด์เดอร์แม่พิมพ์ตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

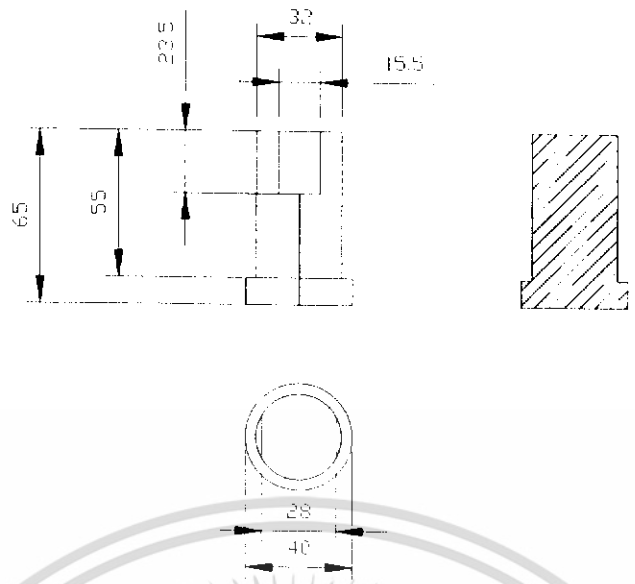


รูปที่ 5 พั้นช์เพลทแม่พิมพ์ดัด



รูปที่ 6 พั้นช์แม่พิมพ์ดัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



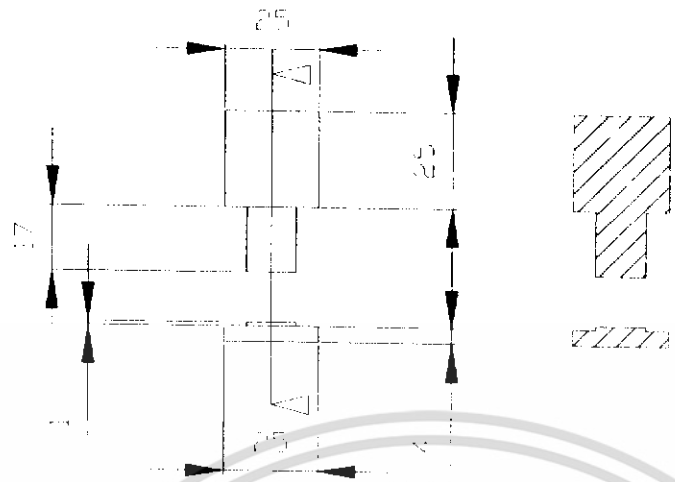
รูปที่ 7 แซ็งค์แม่พิมพ์ตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

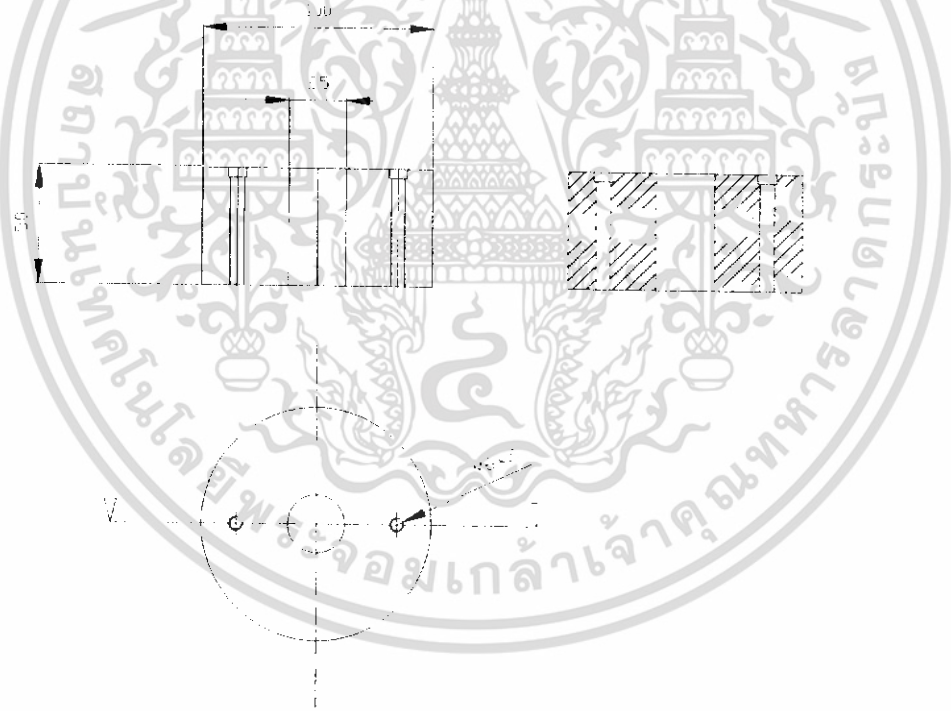
ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข (แบบแม่พิมพ์ตัวปั๊มเหรียญ)

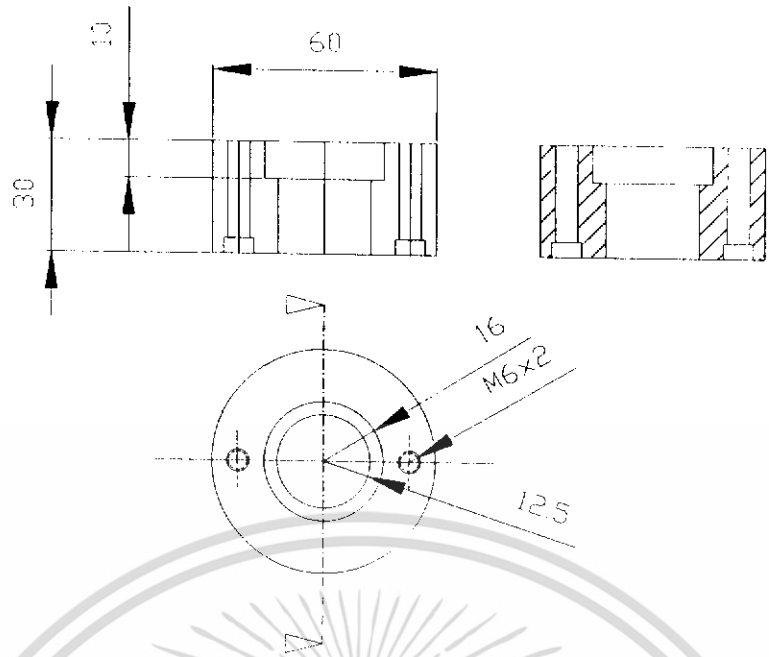


รูปที่ 1 ลายและแป้นรองลายของแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ

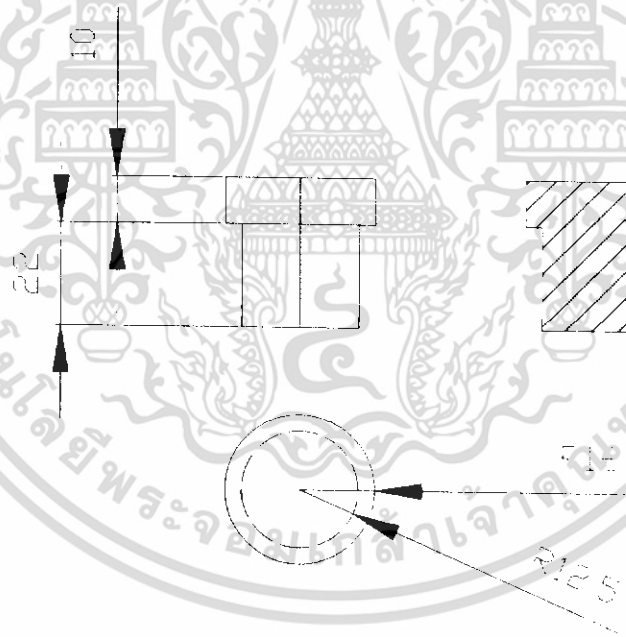


รูปที่ 2 ลายเพลทแม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 พั้นช์เพลทปั๊มเหรียญ



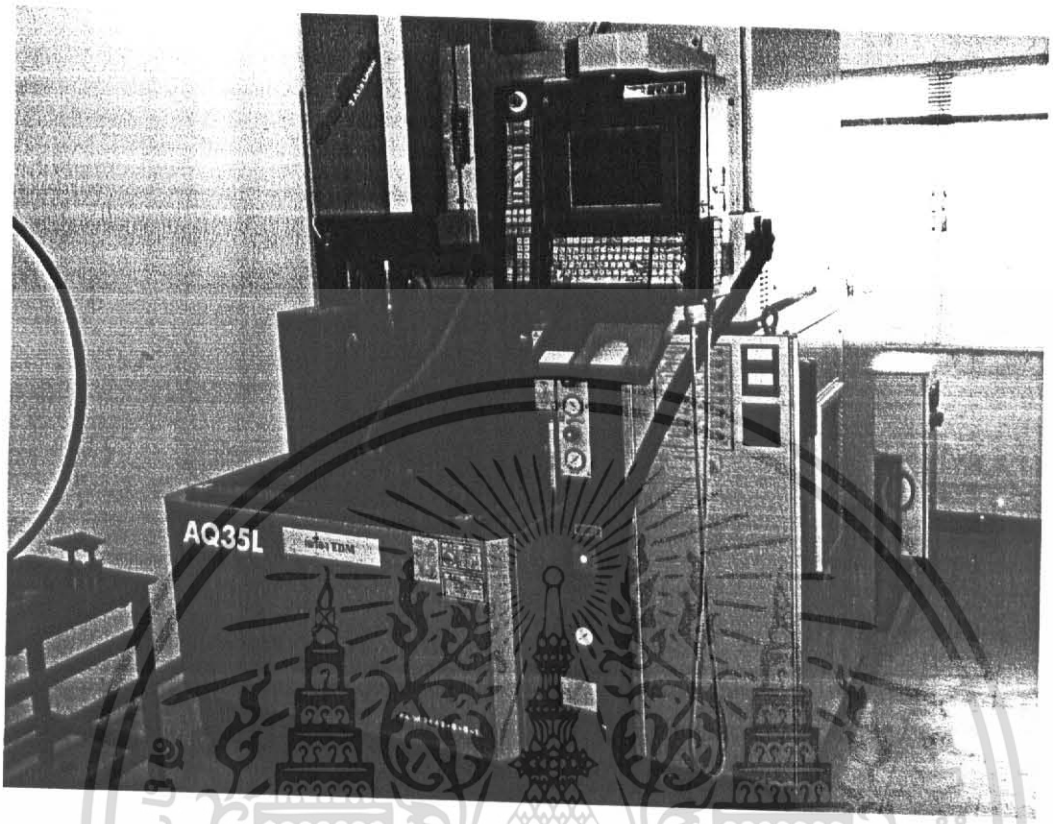
รูปที่ 4 พั้นช์แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการใช้เครื่องอีดีเอ็ม



รูปที่ 1 ภาพเครื่องอีดีเอ็มยี่ห้อ Sodick รุ่น AQ35L

วิธีการใช้เครื่องอย่างง่าย ได้ทำการแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1 การเปิดเครื่อง

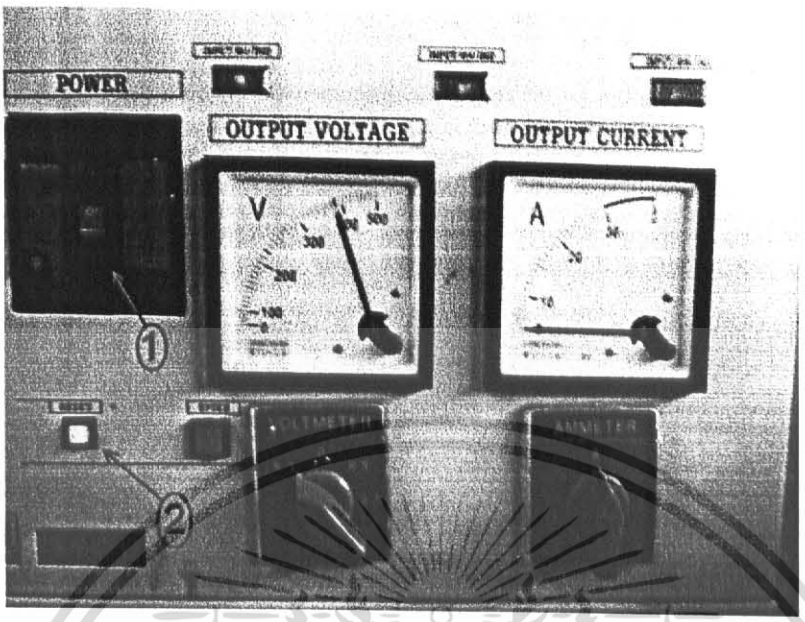
2 การติดตั้งชิ้นงานและการเซตศูนย์ชิ้นงาน

3 การป้อนโคดต่างๆและการเริ่มทำงาน

4 การถอดชิ้นงานและการปิดเครื่อง

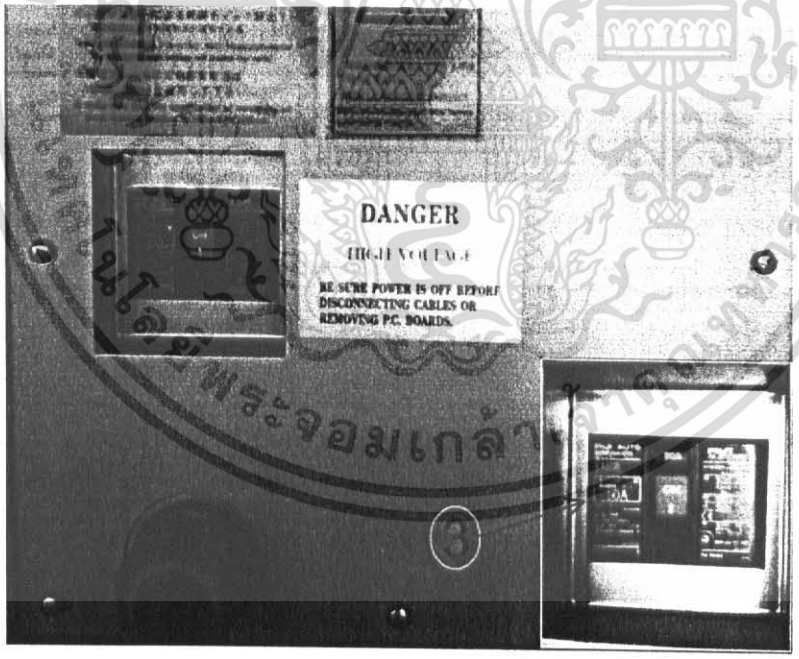
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.การเปิดเครื่อง



รูปที่ 2 รูปหน้าปัดต่างๆของเครื่องแปรงไฟ

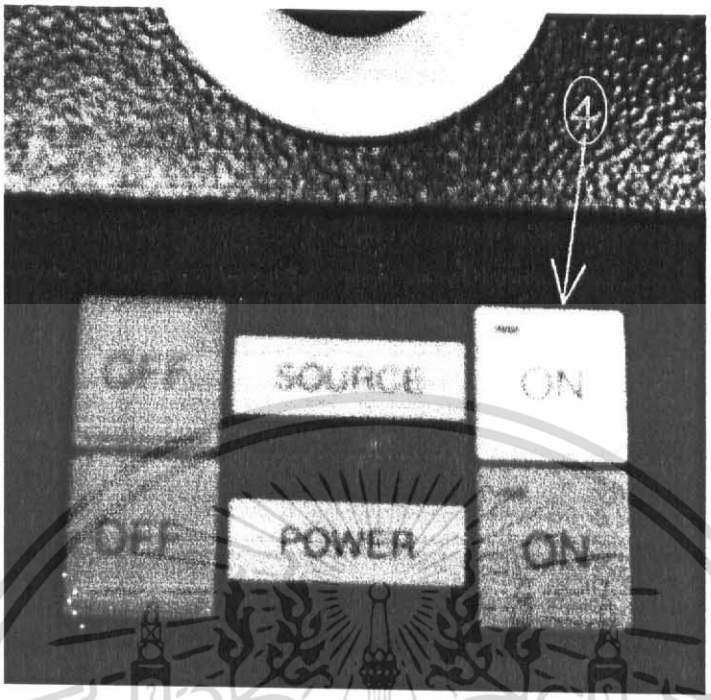
1.1 เปิดสวิตช์หมายเลข 1 จากนั้นกดปุ่ม RESET หมายเลข 2



รูปที่ 3 สวิตช์ด้านหลังเครื่องอีดีเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 เปิดสวิตช์หมายเลข 3 ดังรูปที่ 3



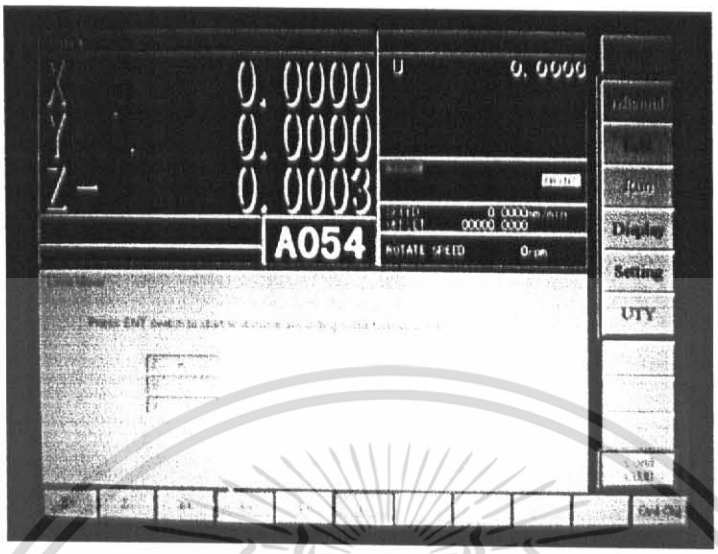
รูปที่ 4 แสดงปุ่มเปิดเครื่อง

1.3 กดปุ่ม SOURCE ON หมายเลข 4 ดังในรูปที่ 4

รูปที่ 5 แสดงหน้าจอหลังจากเปิดโปรแกรมของเครื่อง

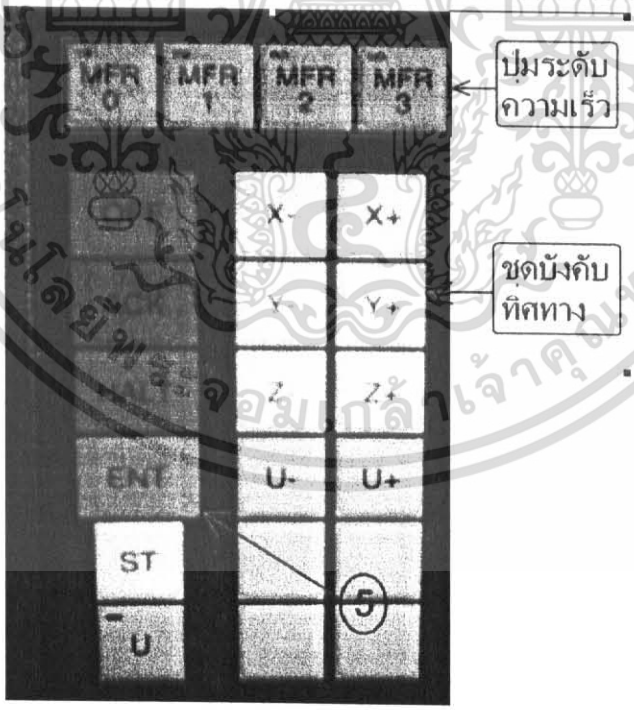
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 หน้าจอจะแสดงคำสั่ง Please press POWER ON switch ให้ทำการกดปุ่ม POWER ON สีเขียวในรูปที่ 4 เพื่อเปิดในส่วนของแมคคานิค



รูปที่ 7 แสดงภาพหน้าจอหลังจากเปิดระบบแมคคานิค

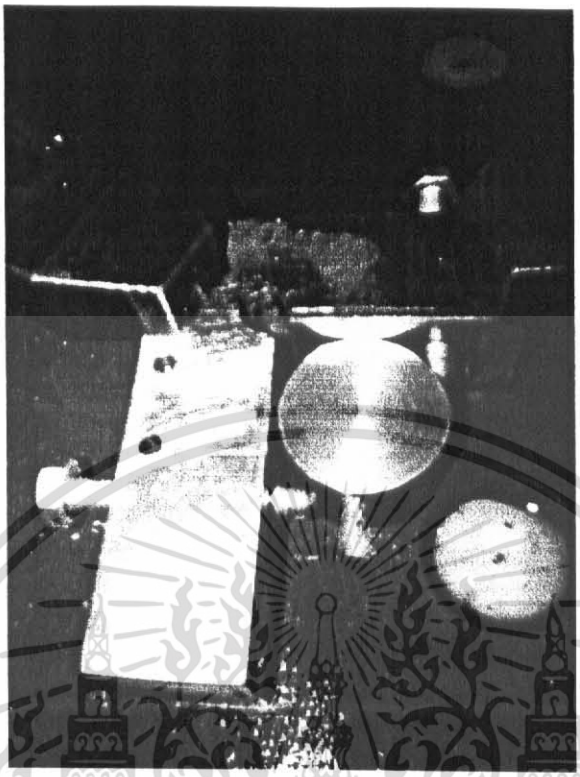
1.5 เมื่อเห็นหน้าจอดังรูปที่ 7 ให้กดปุ่ม ENT สีเขียวหมายเลข 5 ในรูปที่ 8 เพื่อเครื่องจะทำการตรวจสอบความพร้อมก่อนการใช้งาน



รูปที่ 8 แสดงปุ่มควบคุมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การติดตั้งชิ้นงานและการเซตศูนย์ชิ้นงาน

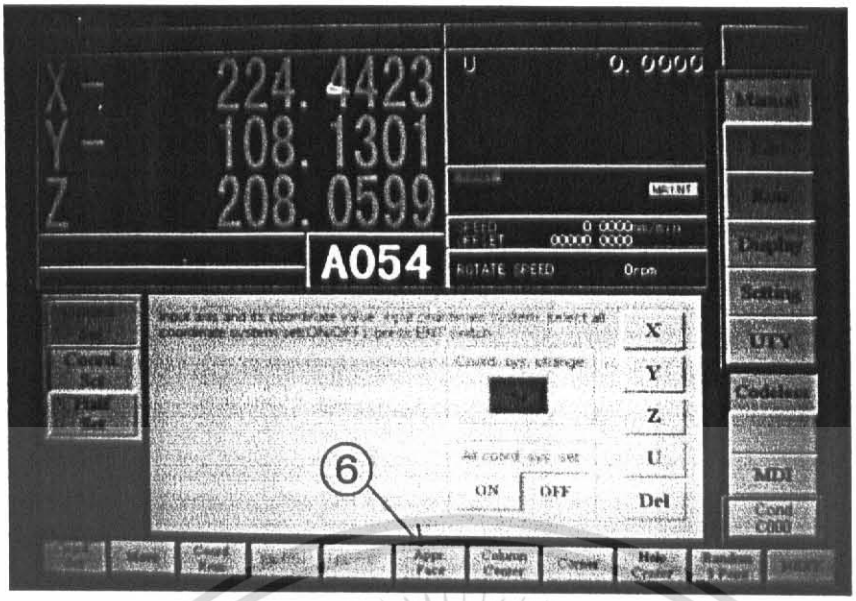


รูปที่ 9 แสดงการติดตั้งชิ้นงาน

รูปที่ 10 แสดงการติดตั้งอิเล็กโทรด

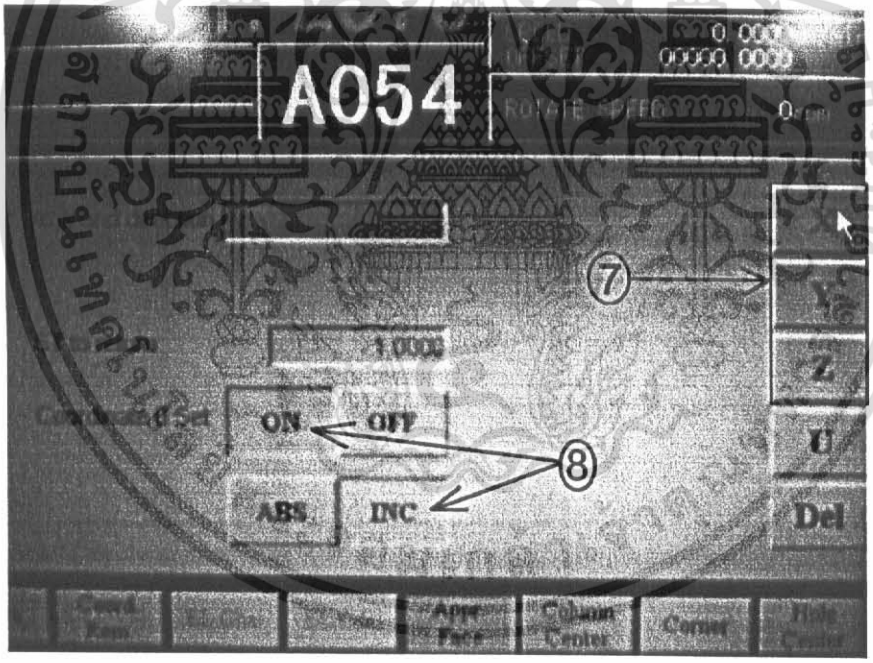
2.1 ทำการติดตั้งชิ้นงานดังรูปที่ 9 และติดตั้งอิเล็กโทรดดังรูปที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 แสดงหน้าจอพร้อมใช้งานหลังจากเปิดเครื่อง

2.3 เลือกปุ่ม Appr Face หมายเลข 6 ในรูปที่ 11 เพื่อทำการเซตศูนย์ชิ้นงาน



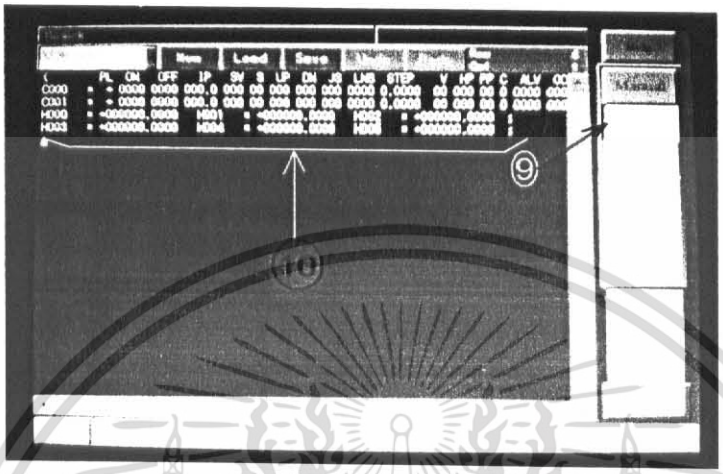
รูปที่ 12 แสดงหน้าจอของ Appr Face

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 นำอิเล็กโทรดเข้าไปใกล้ชิ้นงานในแนวแกรนที่ต้องการ ดังรูปที่ 13 หลังจากนั้น เลือก แกรนใน หมายเลข 7 และ คำสั่ง ON, INC หมายเลข 8 ดังในรูปที่ 12 แล้วกดปุ่ม ENT หมายเลข 5 ในรูปที่ 8 ทำอย่างนี้ทั้ง 3 แกรน

3. การการป้อนโคดต่างๆและการเริ่มทำงาน

3.1 เลือกแถบเมนู EDIT ด้านขวาของจอ ดังหมายเลข 9 ในรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงหน้าต่าง EDIT

3.2 ทำการป้อนตัวแปรต่างๆที่ใช้งานบริเวณเหนือเส้นหมายเลข 10 และจีโคดเอ็มโคดที่ใช้งานใต้เส้นหมายเลข 10 ในรูปที่ 14 โดยจะมีโคด ที่สำคัญในการใช้งาน 2 ตัวควบกัน

3.2.1 โคดที่ใช้ในการกำหนดเวลาตัดชิ้นงาน G85 ลักษณะการใช้ G85 Z3000 ที่ Z3000 คือตัดชิ้นงานในแนวแกน Z 30 นาที

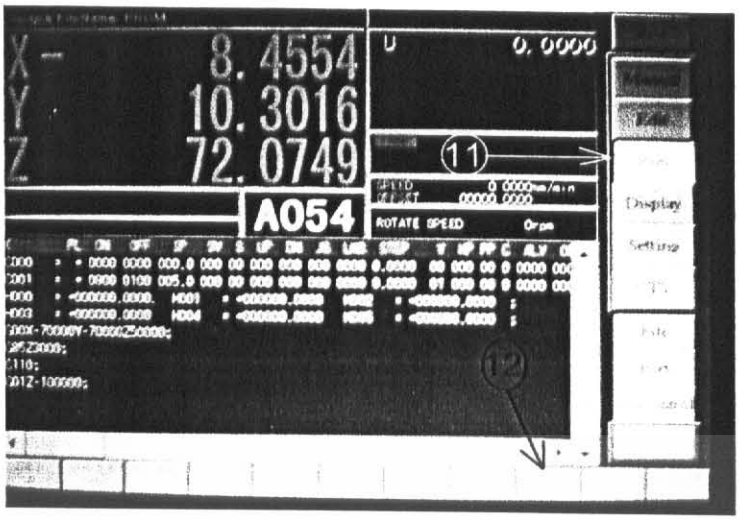
3.2.2 โคดที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน G01 ลักษณะการใช้ G01 Z-90000 ที่ Z-90000 คือทำการตัดชิ้นงานในแนวแกรน Z ไปในทิศทางลบ (-) เป็นระยะทาง 9 มิลลิเมตร ในโปรเจคนี้ตั้งค่า Z ไว้ที่ -9, -14, -19 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการตัดชิ้นงานทะลุโดนแท่นรองรับ

หมายเหตุ การใช้โคดG85 ร่วมกับโคด G01 G02 G03 เครื่องจะทำการหยุดตัดงานเมื่อทำงานครบข้อกำหนดของโคดใดโคดหนึ่งก่อน

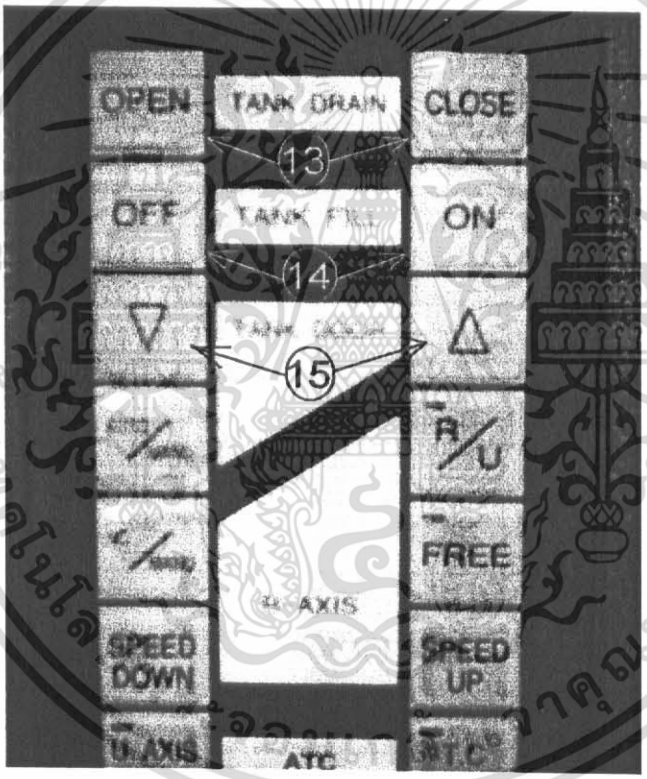
3.3 นำแท็งขึ้น โดยการปุ่มหมายเลข 15 ที่เป็นทางขวามือ ในรูปที่ 16

3.4 กดปุ่ม หมายเลข 13 และ 14 ตามลำดับในรูปที่ 16 เพื่อทำการปิดวาล์วระบายสารทิ้ง และเปิดให้สารไดอิเล็กตริกเข้ามาในแท็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 15 แสดงหน้าต่าง RUN



รูปที่ 16 ปุ่มควบคุมต่างๆ

3.3 เลือกเมนู RUN ที่ด้านขวาของจอ ดังหมายเลข 11 ในรูปที่ 15

3.4 เลือกปุ่ม START G30 หมายเลข 12 ในรูปที่15 แล้วกดปุ่ม ENT หมายเลข 5 ในรูปที่ 8 หลังจากนั้น เครื่องจะเริ่มทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 การถอดชิ้นงานและการปิดเครื่อง

4.1 หลังจากทำการสปาร์คเสร็จ ให้ทำการกดปุ่ม OFF TANK FILL หมายเลข 14 ตามด้วย OPEN TANK DRAIN หมายเลข 13 และเมื่อน้ำมันลดระดับจนแห้งกดปุ่ม TANK DOOR หมายเลข 15 ในรูปที่ 16 เพื่อเอาแท้งลง

4.2 ทำการถอดชิ้นงาน และอิเล็กโทรดออกจากเครื่อง

4.3 ทำการปิดระบบแมคคานิค โดยการกดปุ่ม POWER OFF

4.5 ปิดโปรแกรม โดยการกดปุ่ม SOURCE OFF

4.6 ทำการปิดสวิตช์ด้านหลังของเครื่องตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้