

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปเส้นเหล็กข้ออ้อยด้วยระบบไฮดรอลิก

**THE DESIGN OF PC STRAND COLD FORGING MACHINE WITH
HYDRAULIC SYSTEM**



นาย พิกรี ยิ่งสมาน
นาย สัตยญาติกษณ์ วัฒนานิก
นาย สุพิชชา หนูนาค

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...62471...
วัน,เดือน,ปี 18 ส.ค. 2549

b.....11629636
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปเส้นเหล็กข้ออ้อยด้วยระบบไฮดรอลิก

THE DESIGN OF PC STRAND COLD FORGING MACHINE WITH HYDRAULIC SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์การศึกษา 2548

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปเส้นเหล็กข้ออ้อยด้วยระบบไฮดรอลิก
The Design of PC Strand Cold forging machine with Hydraulic System

ผู้จัดทำ

1. นาย พิกรี้ ยี่งสมาน รหัส 45010566
2. นาย สัญญาลักษณ์ วัฒนานิกร รหัส 45010813
3. นาย สุพิชชา หนูนาค รหัส 45010861



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. จำลอง ปรามแก้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปแผ่นเหล็กข้ออ้อยด้วยระบบไฮดรอลิก

นาย พิกรี ยิ่งสมาน 45010566
นาย สัจญญาลักษณ์ วัฒนานิก 45010813
นาย สุพิชชา หนูนาค 45010861
รศ.ดร. จำลอง ปราบแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการพัฒนาประสิทธิภาพความแข็งแรงของบริเวณจุดเชื่อมต่อกันของเหล็กข้ออ้อยแต่เนื่องจากการขึ้นรูปเหล็กชนิดนี้เป็นการใช้พลังงานสูงและเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุที่ใช้และโครงการนี้เป็น การออกแบบในขั้นต้นจึงได้นำอลูมิเนียมมาทำการทดสอบแทนเหล็กข้ออ้อย อลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีความ ยืดหยุ่นและเหมาะสมกับการขึ้นรูปเย็นที่ใช้พลังงานที่ไม่สูงมาก โดยอลูมิเนียมจะถูกทำการเพิ่มขนาด พื้นที่หน้าตัดบริเวณหัวท้าย ของแท่งอลูมิเนียมซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ให้มีขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นตามขนาดต่างๆ โดยใช้แรงดันจากกระบอกสูบ ไฮดรอลิกดันขึ้นรูปแท่งอลูมิเนียมที่ อยู่ภายในแม่พิมพ์จนกระทั่งได้รูปร่างและขนาดตามต้องการแล้วนำส่วนบริเวณของอลูมิเนียมที่ขึ้นรูปมา ทำเกลียวเพื่อยึดติดกับเกลียวตัวเมียโดยสมมติให้เป็นบริเวณที่เชื่อมต่อกันระหว่างแท่งอลูมิเนียม และ นำไปทดสอบด้วยการดึงเพื่อหาบริเวณจุดที่เกิดความเสียหาย โดยบริเวณที่เกิดการเสียหายมากที่สุดไม่ควร จะเกิดบริเวณที่ได้ทำการอัดขึ้นรูปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Design of PC Strand Cold forging machine with Hydraulic System

Figree Yingsaman 45010566

Sunyaluk Wattananikorn 45010813

Supitcha Nunnak 45010861

Assoc. Prof. Chamlong Prabkeo Advisor

ABSTRACT

This project is a development of strength efficiency at connection point of an aluminum bar by increasing a diameter of the aluminum bar. A former aluminum bar is 16 mm² in diameter which is increased to a various diameter by using a pressure from hydraulic cylinder. The aluminum bar is shaped in block set until it is an acceptable shape. Then, this aluminum bar is tap for bonding with nut which assume for connection point between the aluminum bars. Finally, this model is tested by tensile to find out a failure point. In conclusion, the most failure point may not occur at the point which is completely shaped

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ จำลอง ปรามแก้วอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมาและอาจารย์ชนาธิป ผู้ให้คำปรึกษาทางทฤษฎี และหลักการงานต่างๆซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

พิทรี ยิ่งสมาน
สัญญาลักษณ์ วัฒนานิกร
สุพิชชา หนูนาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่ออังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VI
สัญญาการ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนการศึกษา.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	4
2.1 กรรมวิธีทางงานเย็นของ โลหะ (Cold Working of Metal).....	4
2.2 การปรับปรุงสมบัติทางกลของอะลูมิเนียม.....	8
2.3 ชนิดของกรรมวิธีทางความร้อนที่ทำได้กับอะลูมิเนียม.....	10
2.4 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ.....	12
2.5 การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ.....	15
บทที่ 3 การออกแบบภายในแม่พิมพ์และการวิเคราะห์แรง.....	24
3.1 การออกแบบความยาวภายในแม่พิมพ์.....	24
3.2 การออกแบบมุมภายในแม่พิมพ์.....	29
3.3 การวิเคราะห์แรง.....	31
3.4 การวิเคราะห์ความเค้นรวมของอลูมิเนียม.....	39
3.5 การวิเคราะห์ความเค้นรวมของเหล็กข้ออ้อย.....	40
3.6 การวิเคราะห์ความเครียดพลาสติกของอลูมิเนียม.....	41
3.7 การวิเคราะห์ความเครียดพลาสติกของเหล็กข้ออ้อย.....	42
บทที่ 4 การออกแบบและคำนวณ.....	44
4.1 คำนวณหาแรงที่ใช้ขึ้นรูป.....	44
4.2 เปรียบเทียบแรงอัด.....	50
4.3 ออกแบบฐานสวมแม่พิมพ์.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.4 การคำนวณและออกแบบก้านค้ำยัน (rod)	62
4.5 การคำนวณหาความค้ำที่เกิดขึ้นในระบบ.....	64
บทที่ 5 วิธีการทดลองและทดสอบ.....	67
5.1 อุปกรณ์การทดลอง.....	67
5.2 วิธีการทดลอง.....	71
5.3 วิธีการทดสอบ.....	75
บทที่ 6 ผลการทดสอบ.....	77
6.1 สำหรับอะลูมิเนียมขนาด 18 มิลลิเมตร.....	77
6.2 สำหรับอะลูมิเนียมขนาด 19 มิลลิเมตร.....	78
6.3 สำหรับอะลูมิเนียมขนาด 20 มิลลิเมตร.....	79
บทที่ 7 สรุปผลและวิจารณ์.....	80
7.2 สรุปผล.....	80
7.2 วิจารณ์.....	82
บรรณานุกรม.....	83
ภาคผนวก.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

บทที่ 1	
รูปที่ 1.1 การเชื่อมต่อเหล็กข้ออ้อยโดยการมัดลวด.....	1
บทที่ 2	
รูปที่ 2.1 การรีดแบบเย็นกับแผ่นอะลูมิเนียม ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับ โลหะ.....	8
รูปที่ 2.2 การทดสอบแรงดึงตามแนวตั้ง.....	15
รูปที่ 2.3 วัสดุขณะรับแรงจนกระทั่งขาด.....	15
รูปที่ 2.4 กราฟ Engineering stress –strain.....	16
รูปที่ 2.5 กราฟ True stress –strain.....	19
รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์การไหล.....	20
รูปที่ 2.7 การทดสอบการอัด.....	22
รูปที่ 2.8 กราฟEngineering stress-strain ของวัสดุหลังจากการอัด.....	22
รูปที่ 2.9 การอัดแบบแม่พิมพ์เปิด.....	23
บทที่ 3	
รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ความเค้น-ความเครียด.....	24
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ ความเค้น-ความเครียด.....	25
รูปที่ 3.3 ภาพการขึ้นรูปอลูมิเนียมความยาว 43 มิลลิเมตร.....	28
รูปที่ 3.4 ภาพการขึ้นรูปอลูมิเนียมความยาว 38 มิลลิเมตร.....	29
รูปที่ 3.5 ภาพการขึ้นรูปอลูมิเนียมความยาว 33มิลลิเมตร.....	29
รูปที่ 3.6 ภาพแม่พิมพ์ ขนาดมุมภายใน 40 องศา.....	30
รูปที่ 3.7 ภาพแม่พิมพ์ ขนาดมุมภายใน 30 องศา.....	30
รูปที่ 3.8 ภาพแม่พิมพ์ ขนาดมุมภายใน 20 องศา.....	30
รูปที่ 3.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขั้นตอนการทำงาน 1.....	31
รูปที่ 3.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขั้นตอนการทำงาน 2.....	31
รูปที่ 3.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขั้นตอนการทำงาน 3.....	32
รูปที่ 3.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขั้นตอนการทำงาน 4.....	32
รูปที่ 3.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขั้นตอนการทำงาน 5.....	33
รูปที่ 3.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขั้นตอนการทำงาน 6.....	33
รูปที่ 3.15 ภาพลักษณะการจับอลูมิเนียม.....	34
รูปที่ 3.16 ภาพลักษณะการจับอลูมิเนียมที่ไม่เพียงพอ.....	34
รูปที่ 3.17 ภาพแรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นที่.....	34
รูปที่ 3.18 ภาพแรงที่กระทำแนวระนาบกับพื้นที่.....	35
รูปที่ 3.19 ภาพลักษณะความขรุขระพื้นผิว.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.20 ภาพลักษณะการจับอลูมิเนียม 1.....	37
รูปที่ 3.21 ภาพลักษณะการจับอลูมิเนียม 2.....	37
รูปที่ 3.22 ภาพลักษณะการจับอลูมิเนียม 3.....	37
รูปที่ 3.23 กราฟแสดงค่าแรงที่ใช้บีบแกน y กับขั้นตอนการทำงานแกน x 1.....	38
รูปที่ 3.24 กราฟแสดงค่าแรงที่ใช้บีบแกน y กับขั้นตอนการทำงานแกน x 2.....	38
รูปที่ 3.25 ภาพความเค้นที่เกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป 1.....	39
รูปที่ 3.26 ภาพความเค้นที่เกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป 2.....	39
รูปที่ 3.27 ภาพความเค้นที่เกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป 3.....	39
รูปที่ 3.28 ภาพความเค้นที่เกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป 4.....	40
รูปที่ 3.29 ภาพความเค้นที่เกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป 5.....	40
รูปที่ 3.30 ภาพความเค้นที่เกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป 6.....	41
รูปที่ 3.31 ภาพแสดงค่าความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้น 1.....	41
รูปที่ 3.32 ภาพแสดงค่าความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้น 2.....	41
รูปที่ 3.33 ภาพแสดงค่าความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้น 3.....	42
รูปที่ 3.34 ภาพแสดงค่าความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้น 4.....	42
รูปที่ 3.35 ภาพแสดงค่าความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้น 5.....	43
รูปที่ 3.36 ภาพแสดงค่าความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้น 6.....	43
บทที่ 4	
รูปที่ 4.1 ภาพแสดงสำหรับ อลูมิเนียมขึ้นรูปให้มีขนาด 18 มิลลิเมตร.....	45
รูปที่ 4.2 ภาพแสดงสำหรับ อลูมิเนียมขึ้นรูปให้มีขนาด 19 มิลลิเมตร.....	47
รูปที่ 4.3 ภาพแสดงสำหรับ อลูมิเนียมขึ้นรูปให้มีขนาด 20 มิลลิเมตร.....	49
รูปที่ 4.4 ภาพแม่พิมพ์และฐานสวมที่ออกแบบ.....	51
รูปที่ 4.5 ภาพลักษณะของวิธีการจับอลูมิเนียม.....	52
รูปที่ 4.6 ภาพแสดงอลูมิเนียมขณะที่เริ่มเกิดการเสียรูป.....	52
รูปที่ 4.7 ทิศทางแรงที่แม่พิมพ์กระทำกับอลูมิเนียม.....	52
รูปที่ 4.8 ภาพแรงที่กระทำกับแม่พิมพ์.....	53
รูปที่ 4.9 ภาพแรงที่กระทำกับแม่พิมพ์ในแกน XY.....	54
รูปที่ 4.10 ภาพฐานสวมแม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบ.....	57
รูปที่ 4.11 ภาพแรงที่แม่พิมพ์กระทำฐานสวมแม่พิมพ์.....	58
รูปที่ 4.12 ภาพทิศทางแรงที่กระทำพื้นที่.....	58
รูปที่ 4.13 ภาพทิศทางแรงที่ทำให้เกิดความเค้น.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.14 ภาพทิศทางแรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิว.....	61
รูปที่ 4.15 ภาพก้านค้ำยันที่ออกแบบ.....	62
รูปที่ 4.16 ภาพกระบอกสูบสองทาง.....	64
รูปที่ 4.17 ภาพวงจรควบคุมกระบอกสูบชนิดสองทิศทาง.....	64
บทที่ 5	
รูปที่ 5.1 ภาพอลูมิเนียมขนาด 16 มิลลิเมตร.....	67
รูปที่ 5.2 ภาพฐานสวมแม่พิมพ์ที่ออกแบบ.....	67
รูปที่ 5.3 แม่พิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบ.....	68
รูปที่ 5.4 ภาพก้านค้ำยันที่ออกแบบ.....	68
รูปที่ 5.5 ภาพเหล็กตีขึ้นรูป.....	69
รูปที่ 5.6 ภาพกระบอกสูบสองทาง.....	69
รูปที่ 5.7 ภาพวาล์วควบคุม.....	69
รูปที่ 5.8 ภาพสวนน้ำมันไฮดรอลิก.....	70
รูปที่ 5.9 ภาพมอเตอร์และปั้มน้ำมันไฮดรอลิก.....	70
รูปที่ 5.10 ภาพเกจวัดความดันน้ำมัน.....	70
รูปที่ 5.11 ภาพตัวเครื่องอัดขึ้นรูปอลูมิเนียม.....	71
รูปที่ 5.12 ภาพการติดตั้งอลูมิเนียมเข้ากับแม่พิมพ์.....	71
รูปที่ 5.13 ภาพการประกอบแม่พิมพ์เข้ากับฐานสวม.....	72
รูปที่ 5.14 ภาพแสดงการผลึกแม่พิมพ์.....	72
รูปที่ 5.15 ภาพของอลูมิเนียมหลังจากการให้แรงเริ่มต้นกับแม่พิมพ์.....	73
รูปที่ 5.16 ภาพแสดงการอัดขึ้นรูปอลูมิเนียม.....	73
รูปที่ 5.17 ภาพแสดงอลูมิเนียมหลังการขึ้นรูป.....	73
รูปที่ 5.18 ภาพอลูมิเนียมที่ทำการกลึงเกลียวและสวมเข้ากับเกลียวตัวเมีย.....	74
รูปที่ 5.19 ภาพการเชื่อมต่อของอลูมิเนียม.....	75
รูปที่ 5.20 ภาพเครื่องทดสอบการดึง UTM ขณะทำการดึงอลูมิเนียม.....	75
รูปที่ 5.21 ภาพแสดงลักษณะการเสียหายจากการดึง.....	76
บทที่ 6	
รูปที่ 6.1 ภาพกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดกับแรงดึง 1.....	77
รูปที่ 6.2 ภาพแสดงบริเวณที่เกิดการเสียหายมากที่สุด 1.....	77
รูปที่ 6.3 ภาพกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดกับแรงดึง 2.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6.4 ภาพแสดงบริเวณที่เกิดการเสียบหายมากที่สุด 2.....	78
รูปที่ 6.5 ภาพกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยึดกับแรงดึง 3.....	79
รูปที่ 6.6 ภาพแสดงบริเวณที่เกิดการเสียบหายมากที่สุด 3.....	79
บทที่ 7	
รูปที่ 7.1 ค่าความเครียดพลาสติกของลูมิเนียมขนาด 20 มิลลิเมตร.....	80
รูปที่ 7.2 ค่าความเครียดพลาสติกของลูมิเนียมขนาด 18 มิลลิเมตร.....	80
รูปที่ 7.3 ภาพแสดงบริเวณที่เกิดการเสียบหายมากที่สุด.....	81



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์

σ_e = ความเค้นทางวิศวกรรม

e = ความเครียดทางวิศวกรรม

T.S. = Tensile strength

EL = อัตราส่วนความยาวของชิ้นทดสอบ

AR = อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด

σ = ความเค้น

ϵ = ความเครียด

$\epsilon_{plastic}$ = ความเครียดพลาสติก

K = ค่าคงที่ความแข็งของวัสดุ

Y_f = Flow stress

K_f = ค่ารูปร่างแรงของการอัด

μ = ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

E = ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น

σ_y = ความเค้นคราก

τ_y = ความเค้นเฉือนจุดคราก

n = Strain Hardening

N = แรงปฏิกิริยา

f = แรงเสียดทาน

S.F. = ค่าความปลอดภัย

A_d = พื้นที่หน้าตัดเก็ลลิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากการพัฒนาและความเจริญในสังคมที่เพิ่มมากขึ้นในปัจจุบันย่อมเกิดขึ้นจากแนวคิดใหม่ๆ และความเจริญที่เกิดขึ้นมักจะทำให้เกิดควบคู่ไปกับการก่อสร้างต่างๆที่เพิ่มมากขึ้น เช่น ตึกสูงๆ เป็นต้น ในการก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพย่อมเกิดจากหลายๆองค์ประกอบรวมกัน รวมถึงการสร้างความปลอดภัยในการก่อสร้างด้วย ในที่นี้จะขอเอ่ยถึงการประยุกต์ใช้และพัฒนาแนวคิด ในส่วนของเหล็กข้ออ้อยที่ใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งจะต้องการเหล็กข้ออ้อยที่มีความยาวมากๆ แต่ในปัจจุบันเหล็กข้ออ้อยที่ผลิตแต่ละเส้นจะมีความยาวไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงต้องมีการนำเหล็กข้ออ้อยมาเชื่อมต่อกันดังรูปที่ 1.1 โดยจุดที่จะมีโอกาสเกิดปัญหาคือรอยต่อบริเวณที่มีควดค้ำ นำมาซึ่งความอันตรายและความเสียหายที่จะตามมา เมื่อได้สังเกตเห็นถึงปัญหาในข้อนี้ จึงได้ทำการหาวิธีการต่อเหล็กข้ออ้อยขึ้นมาใหม่ เพื่อพัฒนาการต่อเหล็ก ข้อของรอยต่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ในที่นี้จะทำการทดสอบ โดยประยุกต์ใช้อะลูมิเนียมแทนเหล็กข้ออ้อย เนื่องจากเป็นการทดลองในขั้นต้นเพื่อนำมาพัฒนาต่อไป โดยจะออกแบบเครื่องอัดอะลูมิเนียมเพื่อเพิ่มพื้นที่หน้าตัดเฉพาะที่ส่วนหัว (การอัดจะส่งผลต่อเม็ดเกรนทำให้อะลูมิเนียมมีความแข็งแรงขึ้น) จึงนำออกมาถึงเกลียว ๗ จุดที่ป้อนนั้น แล้วสวมเข้ากับข้อต่อที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างเหล็ก 2 เส้น จากนั้นจึงนำมาทดสอบ โดยการดึงหาก ไม่ขาดหรือรูดที่เกลียวภายในข้อต่อ จะถือว่าผ่าน ซึ่งวิธีหลังนี้จะสามารถควบคุมคุณภาพความแข็งแรงได้ดีกว่าการเชื่อมที่อาจมีข้อผิดพลาดด้านคุณภาพได้



รูปที่ 1.1 ภาพการเชื่อมต่อของเหล็กข้ออ้อยโดยการมัดควด

1.2 วัตถุประสงค์

1. ออกแบบและสร้างเครื่องอัดเหล็กข้ออ้อย โดยใช้อลูมิเนียมแทนเหล็กข้ออ้อยในการทดสอบ
2. ออกแบบระบบไฮดรอลิก ที่ใช้อลูมิเนียม ให้มีขนาดเหมาะสมด้วยวิธีทางวิศวกรรม
3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงของชิ้นงานหลังจากทำการอัดขึ้นรูปโดยทดสอบหาความแข็งแรง โดยการดึงชิ้นงานเพื่อหาบริเวณที่เกิดความเสียหายและเลือกขนาดการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุด
4. เพื่อศึกษาค่าความเค้นและความเครียดพลาสติกของเหล็กข้ออ้อยและอลูมิเนียมที่ได้รับการขึ้นรูปตามขนาดต่างๆเพื่อหา ขนาดที่ใช้ขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุดด้วยหลักการทาง ไฟไนต์เอลิเมนต์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

จากการศึกษาลักษณะเม็ดเกรนของวัสดุที่ได้รับการอัดตัวจนกระทั่งเกิดการเสียรูป จะพบว่าเม็ดเกรนบริเวณส่วนที่อัดตัวจะเกิดการบีบตัวและจะมีค่าความแข็งแรงมากกว่าเดิม เช่นกัน โครงงานนี้จะนำอลูมิเนียมมาอัดจนกระทั่งเสียรูป เมื่อนำไปทดสอบความแข็งแรงแล้วจะมีความแข็งแรงมากกว่าอลูมิเนียมที่ไม่ได้ผ่านการอัด

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้

การนำแท่งอลูมิเนียมมาขึ้นรูปเพื่อเพิ่มพื้นที่หน้าตัด โดยปริมาตรมีค่าเท่าเดิมแล้วจึงนำส่วนที่ขึ้นรูปแล้วมาทำเกลียวเพื่อต่อเข้ากับสลักเกลียวตัวเมียที่เตรียมไว้แล้ว โดยสลักเกลียวตัวเมียจะเป็นจุดเชื่อมต่อที่แข็งแรงแล้วจึงนำมาทดสอบค่าความแข็งแรง ค่าความเค้น ค่าความเครียดของเหล็ก โดยใช้หลักการของกลศาสตร์ของแข็งเป็นส่วนเกี่ยวข้อง การอัดขึ้นรูปแท่งอลูมิเนียมจะใช้หลักการของระบบไฮดรอลิกเป็นส่วนเกี่ยวข้อง โดยมีกระบอกสูบเป็นตัวอัดขึ้นรูปและเนื่องจากการอัดขึ้นรูปเป็นระบบที่ต้องใช้แรงอัดสูงอาจทำให้เกิดการเสียหายกับชิ้นส่วนต่าง ๆ ของตัวเครื่องได้จึงมีการติดตั้งวาล์วลดความดันเพื่อลดความดันภายในระบบที่สูงเกินไป ส่วนการออกแบบการขึ้นรูปของอลูมิเนียมจะใช้หลักทฤษฎีการขึ้นรูปโลหะและการออกแบบแม่พิมพ์เป็นหลัก ทฤษฎีของการขึ้นรูปโลหะจะใช้หลักการกรรมวิธีทางงานเย็นของโลหะ โดยหลักการการขึ้นรูปแบบเย็นจะเป็นการขึ้นรูปที่ทำให้เม็ดเกรนเกิดการอัดตัวขึ้นภายในระบบและทำให้เพิ่มความแข็งแรงตรงบริเวณที่เม็ดเกรนเกิดการอัดตัวและหลังจากการขึ้นรูปแบบเย็นแล้วเหล็กที่ถูกอัดจะไม่เกิดการคืนสภาพดังเดิมถ้าเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทางงานร้อนแล้วเหล็กที่ถูกอัดขึ้นรูปจะมีโอกาสคืนตัวกลับสภาพดังเดิมได้

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการวิเคราะห์หาแรงในการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อย ขึ้นเบื้องต้น
2. ทำการขึ้นรูปอลูมิเนียมแท่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ค่า คือ 18 ,19 ,20 มิลลิเมตรด้วยระบบไฮดรอลิก
3. นำอลูมิเนียมที่ขึ้นรูปตามขนาดต่าง ๆ มาเชื่อมต่อกัน โดยสลักเกลียวตัวเมียแล้วนำมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์แล้ว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทดสอบหาบริเวณที่เกิดความเสียหายที่สุดจากเครื่องทดสอบการดึง
- ศึกษาค่าความเครียดพลาสติกและค่าความเค้นของเหล็กข้ออ้อยและอลูมิเนียมขณะที่ทำการขึ้นรูปด้วยหลักการทางไฟในคัลอิเมนต์

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

1. ทำการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับกรรมวิธีทางงานเย็น
2. ศึกษาคุณสมบัติของอลูมิเนียมที่นำมาทดสอบ
3. ศึกษาถึงผลกระทบของเหล็กข้ออ้อยและอลูมิเนียมขณะที่ทำการอัดขึ้นรูปให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 , 19 , 20 มิลลิเมตรด้วยหลักการทางไฟในคัลอิเมนต์
5. ศึกษาโครงสร้างของตัวเครื่องโดยใช้หลักการกลศาสตร์ของแข็ง
6. ศึกษาโครงสร้างของระบบไฮดรอลิก
7. เตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ในการทดสอบ
8. ทำการทดสอบและเก็บบันทึกผลการทดสอบ
9. นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์และสรุปผล

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงค่าความเค้น ความเครียด ที่กระทำกับกับเหล็กข้ออ้อยและอลูมิเนียมขณะที่ทำการอัด
2. พัฒนาและปรับปรุงบริเวณตรงจุดเชื่อมต่อกันของแท่งอลูมิเนียมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการเชื่อมต่อกันของเหล็กข้ออ้อย
3. เพิ่มความแข็งแรงต่อตัวโครงสร้างเหล็กข้ออ้อยและอลูมิเนียมที่ใช้ในงานก่อสร้างและเพิ่มระยะเวลาการใช้งานมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 กรรมวิธีทางงานเย็นของโลหะ (Cold Working of Metal)

เมื่อโลหะถูกรีดอัดไหลหรือดึงที่อุณหภูมิของการจัดเรียงผลึก เรียกการกระทำเหล่านี้ว่าการทำงานเย็น ซึ่งโลหะส่วนมากมักถูกทำงานเย็นที่อุณหภูมิห้อง และแม้ว่าระหว่างการปฏิบัติงานในการขึ้นรูปจะทำให้อุณหภูมิของชิ้นงานสูงขึ้นก็ตาม แต่มันก็จะไม่มากเท่ากับอุณหภูมิในงานร้อน กรรมวิธีทางงานร้อนหรือการขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของการจัดเรียงผลึก จะทำให้ขนาดเกรนละเอียดขึ้น ส่วนกรรมวิธีทางงานเย็นจะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของเกรนและขนาดที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการปฏิบัติการจะเป็นไปได้น้อย นอกจากนี้กรรมวิธีทางงานเย็นจะให้ผลดีในเรื่องของความแข็งแรง, ความสามารถในการทำเนื้อโลหะ (Machinability), ความถูกต้องของขนาดมิติ และผิวงานสำเร็จที่เรียบลื่นขึ้น และเนื่องจากเกิดการออกซิเดชันน้อยกว่าในงานร้อน งานเย็นจึงสามารถให้ปริมาณที่มากกว่าของการรีดโลหะแผ่นและฟอยล์ (foil) แต่งานเย็นมีข้อเสียคือต้องใช้แรงในการขึ้นรูปมาก

2.1.1 หลักการของกรรมวิธีทางงานเย็น (Principles of Cold Working)

เพื่อให้เข้าใจถึงหลักการของการปฏิบัติการทางงานเย็น จำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่องโครงสร้างของโลหะ โลหะทั้งหลายในธรรมชาตินั้นประกอบด้วยเกรนที่มีขนาดและรูปร่างต่าง ๆ กัน ซึ่งเกรน (grain) เหล่านี้อาจเห็นได้จากกล้องขยายกำลังสูง ในเนื้อโลหะที่ผ่านการขัดสีด้วยกรด (etching) มาอย่างถูกต้อง เกรนแต่ละเกรนจะเกิดมาจากกลุ่มของอะตอมที่มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบเรียกว่าตารางผลึก (lattice) ซึ่งการเรียงตัวนี้จะแตกต่างกันไปในแต่ละเกรน เมื่อวัสดุทำงานเย็น การเปลี่ยนรูปร่างของมันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเกรน เช่น การแตกออก, การเคลื่อนที่ของอะตอม และการบิดเบี้ยวของตารางผลึกระนาบที่เคลื่อนที่ไป (slip plane) จะเกิดขึ้นผ่านบริเวณตารางผลึกที่จุดซึ่งพันธะยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมอ่อนแอที่สุด การเรียงตัวของอะตอมจะเคลื่อนที่เมื่อมีการเลื่อนของระนาบอะตอมแต่พันธะระหว่างอะตอมไม่เปลี่ยนแปลง ในกรณีซึ่งมีการรวมตัวกันใหม่ (reorientation) จะเรียกว่าการเกิดการทวีคูณในตารางผลึกที่มีการทวีคูณ (twinning) ด้านหนึ่งจะมีการก่อตัวในรูปแบบที่แตกต่างจากด้านอื่นๆ แต่จะเหมือนกับด้านที่ติดกันซึ่งโดยปรกติแล้วการเลื่อนของระนาบจะเป็นผลทั่วไปจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากกว่าแรงกดดันที่ใช้ในงานเย็นจะมากกว่าที่ใช้กับงานร้อน เนื่องจากความแข็งแรงของโลหะมีมากกว่าโลหะในงานเย็นจะไม่เปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร จนกระทั่งมันได้รับความเค้นจนเกินขีดจำกัดความยืดหยุ่น (elastic limit) และเนื่องจากไม่สามารถทำการจัดเรียงผลึกของเกรนได้ใหม่ จึงไม่มีทางทำให้เกรนที่บิดเบี้ยวหรือแตกออกกลับไปรูปเดิมได้ ขณะที่มีการเปลี่ยนรูปของเกรนต่อไป จะมีความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงนี้มากขึ้น อันจะเป็นผลในการเพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแรงของโลหะ ซึ่งเรียกว่าเป็นการทำให้โลหะแข็งแรงจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเครียด (strain hardened) และสำหรับโลหะที่ไม่ตอบสนองต่อกรรมวิธีทางความร้อนวิธีนี้เป็นวิธีเดียวที่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของมันได้อึ่งปรากฏการณ์นี้อาจเกิดได้จาก การต้านทานของการเปลี่ยนตำแหน่งอะตอม (atomic dislocation), การแตกของอะตอม (fragmentation) หรือการต้านการบิดเบี้ยวของตารางผลึก (lattice distortion) สิ่งใดสิ่งหนึ่งหรือทั้ง 3 สิ่งรวมกันการเปลี่ยนรูปร่างงานเย็นที่โลหะจะทนได้นั้นขึ้นกับ ความเหนียว (ductile) ของเนื้อโลหะซึ่งถ้ามีมากเท่าไรมันก็สามารถรับการเปลี่ยนรูปร่างได้ดีเท่านั้น, โลหะบริสุทธิ์จะทนต่อการเปลี่ยนรูปร่างได้มากกว่าพวกโลหะผสมเนื่องจากธาตุผสมจะเพิ่มความเหนียวและความรวดเร็วในการแข็งตัวจากความเครียด (strain hardening) และโลหะที่มีเกรนขนาดใหญ่จะมีความเหนียวมากกว่าโลหะที่มีเกรนขนาดเล็กเมื่อโลหะถูกเปลี่ยนรูป จะเกิดความเค้นอย่างรุนแรงในเนื้อโลหะเรียกว่าความเค้นตกค้าง (residual stress) ซึ่งความเค้นอันไม่พึงปรารถนาสามารถกำจัดออกได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิของโลหะจนต่ำกว่าช่วงการจัดเรียงผลึก (recrystallization) เล็กน้อย ที่อุณหภูมินี้ความเค้นจะสลายตัวไปโดยไม่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพหรือโครงสร้างของเกรน ด้วยวิธีการนี้สามารถกำจัดผลเสียอันเนื่องมาจากกรรมวิธีทางงานเย็นได้ตามต้องการ อย่างไรก็ตามความเค้นตกค้างนี้อาจจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติขณะใช้งานของผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น การทำให้ผิวหน้าของโลหะมีความเค้นอัดในขณะที่ได้ผิวหน้ามีความเค้นจากแรงดึง จะช่วยลดความล้าที่จะเกิดขึ้นขณะใช้งานได้ วิธีการที่ใช้ทำให้เกิดความเค้นในสภาพดังกล่าวอาจทำได้โดยการ ใช้การยิงด้วยเม็ดโลหะ (shot pining)

2.1.2 ข้อดีและข้อจำกัด (Advantages and Limitations)

ผลิตภัณฑ์จำนวนมากจะเข้าสู่ขั้นตอนทางงานเย็นภายหลังจากการรีดร้อน เพื่อคุณสมบัติเป็นที่ยอมรับในเชิงการค้า เช่น แถบโลหะยาว (Strips) และแผ่นเหล็กที่ผ่านการรีดร้อนจะนิ่ม, มีผิวหน้าที่ไม่เรียบร้อยทั้งยังขนาดมิติที่แน่นอนและมีคุณสมบัติทางกายภาพไม่ดี การรีดเย็นจะสามารถจัดข้อบกพร่องเหล่านี้ได้ในขณะที่ขนาดลดลงเพียงเล็กน้อย และสำหรับโลหะที่ไม่ตอบสนองต่อกรรมวิธีทางความร้อน กรรมวิธีทางงานเย็นเป็นเพียงวิธีเดียวที่จะเพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแรงให้กับเนื้อวัสดุ นอกจากนี้ยังสามารถใช้กรรมวิธีทางงานเย็นในการอัดไหลสำหรับวัสดุเหนียวได้อีกด้วย แต่กรรมวิธีนี้ต้องการอุปกรณ์ที่แข็งแรงและแรงดันมากกว่ากรรมวิธีทางงานร้อนเป็นอย่างมาก การแตกหักของชิ้นงานที่รับการปฏิบัติการทางงานเย็นสามารถเกิดขึ้นได้ถ้ามันได้รับการเปลี่ยนรูปมากเกินไป ข้อจำกัดนี้อาจลดลงได้ถ้านำชิ้นงานไปผ่านการอบอ่อนก่อนเข้าขบวนการ และสำหรับกรณีทั่วไปแล้วการทำงานเย็นจะให้ผลดังต่อไปนี้

1. จะยังคงมีความเค้นตกค้างอยู่ในวัสดุ จนกว่าจะมีการกำจัดออกไปโดยกรรมวิธีทางความร้อน
2. จะทำให้เกิดการบิดเบี้ยวและการถูกอัดของเส้น โครงสร้าง
3. ความแข็งแรงและความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นเป็นการแปรผกผันกับความเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุณหภูมิของการจัดเรียงผลึกใหม่ในเหล็กกล้าจะเพิ่มสูงขึ้น
5. จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของผิว
6. สามารถรักษาพิคัดความคลาดเคลื่อนของขนาดมิติที่แคบๆ ไปได้
7. ปริมาณการผลิตสามารถทำได้เร็วและมากจึงทำให้คุ้มค่าในเชิงการค้า

2.1.3 ขบวนการทางงานเย็น (Cold-Working Process)

ผลกระทบต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นเป็นผลเฉพาะกรรมวิธีในทางงานเย็นเท่านั้น เช่น ในการอัด, การดึง (Drawing) และการอัดไหลจะมีผลทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของเกรนและมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ ในขณะที่การปฏิบัติการทางด้าน งานเฉือน (shearing) และการตัดจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านรูปร่างเท่านั้น อย่างไรก็ตาม ขบวนการทางงานเย็นโดยมากมักจะเป็นขบวนการที่เกี่ยวข้องกับการรีด, การดึงและการอัด ไหล

ขบวนการทางงานเย็นมีดังนี้

- Tube Finishing การทำท่อในขั้นสำเร็จ
- Wire Drawing การดึงลวด
- Foil Manufacturing การผลิตแผ่นโลหะบาง
- Metal Spinning การขึ้นรูปโลหะโดยการปั่นหมุน
- Shear Spinning การขึ้นรูปโดยการหมุนเฉือน
- Stretch Forming การขึ้นรูปโดยการดึงยืด
- Swaging and Cold Forming การบีบอัดและการขึ้นรูปเย็น
- Hobbing การขึ้นรูปโพรงแบบโดยการกัด
- Riveting, Staking and Stapling การบีบ, การย้ายขยายและการย้ายหลายชิ้นงาน
- Roll Forming การรีดขึ้นรูป
- Plate Bending การดัดแผ่นโลหะ
- Seaming การเข้าตะเข็บ
- Explosive Forming การขึ้นรูปโดยใช้การระเบิด
- Electrohydraulic Forming การขึ้นรูปจากไฟฟ้าโดยใช้ของเหลวเป็นแหล่งความดัน
- Magnetic Forming การขึ้นรูปด้วยแรงทางแม่เหล็ก

2.1.4 การบีบอัดและการขึ้นรูปเย็น (Swaging and Cold Forming)

กรรมวิธีทางงานเย็นและการขึ้นรูปเป็นลักษณะการอัดหรือกระแทกโลหะให้ไหลไปตามรูปร่างของแม่แบบที่เตรียมไว้ก่อน ชิ้นงานที่ทำจากวิธีนี้จะสมบูรณ์โดยรูปร่างแต่ไม่สมบูรณ์โดยละเอียดเนื่องจากโลหะอาจไหลไปในทิศทางเฉพาะที่แรงกระทำและเนื่องจากการบีบอัดนั้นค่อนข้างรุนแรงดังนั้นในกรณีที่ต้องการลดขนาดลงมาก จำเป็นต้องทำวัสดุให้แข็งและอบให้อ่อน

ลงในภายหลังการขึ้นรูปซึ่งในอดีตเรียกว่าการทำหัวเย็น (Cold heading) หรือการตีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(upsetting) สลักเกลียว, หมุดย้ำ หรือชิ้นงานที่มีลักษณะคล้ายกันนี้จะทำบนเครื่องขึ้นรูปเย็น (cold foaming) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการบีบอัด (swaging) และเนื่องจากการทำหัวเย็น (cold heading) นั้นเนื้อวัสดุไม่ได้รับความร้อนแม่แบบจึงทนต่อแรงกดดันสูงที่เกิดขึ้น ในขณะที่เดียวกันแนวการวางตัวของเครื่องตีขึ้นกับแม่แบบต้องเที่ยงตรง เพื่อขจัดข้อบกพร่องของชิ้นงาน ตะปู, หมุดย้ำ และสลักเกลียวเล็ก ๆ อาจทำขึ้นจากขดลวดและถูกตีแบบเย็น ในขณะที่สลักเกลียวขนาดใหญ่ต้องทำการเผาปลายแท่งโลหะให้ร้อนก่อนนำไปเข้าขบวนการทำหัว สำหรับการทำตะปูนั้นจะขึ้นรูปหัวก่อนแล้วจึงทำการตัดตามความยาวที่ต้องการ ลวดจะถูกป้อนเข้าด้านหน้า และถูกยึดไว้จากนั้นจึงทำหัวแล้วบีบหรือเฉือนให้ได้ปลายแหลมแล้วเข้าสู่ขบวนการจัดสี ขจัดสารหล่อลื่นและขัดเงา (Whisker) ก่อนทำการบรรจุ

การขึ้นรูปภายใน (intraforming) เป็นขบวนการซึ่งโลหะจะถูกบีบด้วยแรงดันประมาณ 4,000 เมกะปาสคาลหรือน้อยกว่า บนแม่แบบหรือแกนบังคับขนาด (mandrel) เพื่อรูปร่างภายใน ขบวนการนี้สามารถใช้กับชิ้นงานตีของเหล็ก, โลหะนอกกลุ่มเหล็ก, ชิ้นงานโลหะผงและการทำท่อได้ ผิวซุระ (splines), เกียร์ภายใน, และรูที่มีรูปร่างพิเศษ ซึ่งใช้เครื่องมือราคาไม่แพง, ให้ผลสำเร็จที่ดีและมีความถูกต้องสูง

2.1.5 การตีอัด (Press Forging)

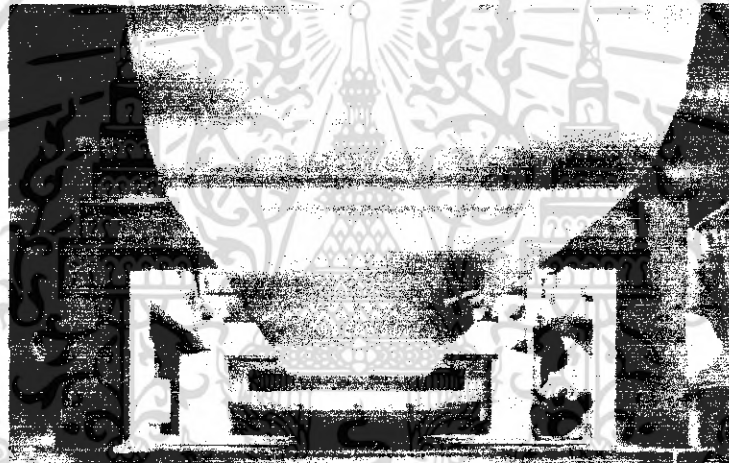
การตีอัดใช้ในการอัด (squeezing) อย่างช้า ๆ เพื่อใช้เปลี่ยนรูปโลหะในสภาพที่มีการประพืดตัวเป็นพลาสติก ซึ่งเป็นวิธีการที่ตรงกันข้ามกับการตีกระแทก ซึ่งเป็นวิธีตรงกันข้ามกับการตีกระแทกอย่างรวดเร็วของค้อน การอัดจะถูกนำเข้าสู่ศูนย์กลางของชิ้นงานที่ถูกอัดตลอดทั้งหน้าตัด ซึ่งมักทำในแนวตั้ง ทั้งแบบกลไกและ ไฮดรอลิก สำหรับชิ้นงานตีอัดขนาดเล็กจะใช้แม่แบบชนิดห้องอัดปิด (Close impression) และต้องการการกดเพียงครั้งเดียว โดยแรงกดสูงสุดจะเป็นแรงที่ผลักดันโลหะให้เป็นรูปร่างซึ่งเกิดที่ปลายสุดของระยะชักแม่แบบอาจจะถูกทำเป็นส่วน ๆ แยกตั้งแต่ 2 โพรงขึ้นไปและแยกแต่ละ โพรงลงบนแบบย่อย แม่แบบสำหรับโลหะต่างกันชนิดกันมีความแตกต่างกันอยู่บ้าง เช่น มุมอียงของแบบในชิ้นงานทองแดงผสมจะน้อยกว่าในชิ้นงานเหล็กกล้า เป็นผลทำให้สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนกว่าได้ในการตีแบบกดอัด พลังงานจะถ่ายทอดสู่ชิ้นงานมากกว่าการใช้การกระแทก เนื่องจากการกระแทกจะทำให้พลังงานบางส่วนถูกดูดกลืนโดยเครื่องจักรและฐานราก อีกทั้งการกดอัดเนื้อโลหะได้ง่ายจะลดเวลาในการผลิตมากกว่า จึงทำให้ค่าใช้จ่ายของขบวนการต่ำกว่าด้วย งานกดอัดส่วนมากจะมีรูปร่างสมมาตรและมีผิวเรียบอีกทั้งมีพิสัยความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าด้วย อย่างไรก็ตามชิ้นงานที่ไม่สมมาตรหรือซับซ้อนจะประหยัดได้มากกว่าถ้าใช้การตีกระแทกในการขึ้นรูป ส่วนเครื่องอัดนั้นจะใช้ในการปรับปรุงรูปร่างของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอื่นมาแล้ว

2.2. การปรับปรุงสมบัติทางกลของอะลูมิเนียม

การปรับปรุงสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมที่มีส่วนผสมทางเคมีคงที่แล้ว อาจทำได้อย่างน้อย 2 วิธี คือ

2.2.1 การขึ้นรูปแบบเย็น (Cold working)

กรรมวิธีนี้ทำโดยการใช้แรงทางกล เช่น รีด ตี เป็นต้น ในขณะที่โลหะยังเย็นอยู่ แล้วทำให้โลหะเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป การทำเช่นนี้เป็นผลให้ตำแหน่งของอะตอมของเนื้อโลหะบิดเบี้ยวจากตำแหน่งที่ควรจะเป็น ผลก็คือ โลหะสามารถต้านทานต่อแรงที่มากระทำต่อมัน ได้มากขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือโลหะมีความแข็งแรงมากขึ้น ความแข็งแรงในลักษณะนี้ เรียกว่า สเตรนฮาร์ดเทนนิ่ง วิธีนี้เหมาะสำหรับใช้เพิ่มความแข็งแรง ให้กับอะลูมิเนียม ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงง่ายๆ เช่น แผ่นแบน ท่อนกลมดังรูปที่ 2.1 เป็นต้น ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมที่ผ่านการขึ้นรูปที่ระดับความรุนแรงต่างๆ



รูปที่ 2.1 การรีดแบบเย็นกับแผ่นอะลูมิเนียม ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับโลหะ

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกลของอลูมิเนียมที่ผ่านการขึ้นรูปที่ความรุนแรงระดับต่างๆ (แผ่นอลูมิเนียมหนา1/16นิ้ว)

ชนิด	ธาตุผสมที่สำคัญ(%)	ภาวะ	เทนไซล์ สเตร็ง(ksi)	ยิลด์ สเตร็ง(ksi)	ความยืด ใน 2 นิ้ว
1100	99.00Al	0	13	59	35
		H14	18	17	9
		H18	24	22	5
3003	1.2Mn	H0	16	6	30
		H14	21	8	16
		H18	29	27	4
3004	1.2Mn, 1.0Mg	H0	26	10	20
		H14	35	29	9
		H18	41	36	5
5052	2.5Mg, 0.2Cr	H0	28	13	30
		H34	38	31	14
		H38	42	37	8
5056	5.2Mg, 0.1Mn, 0.1Cr	H0	42	22	35
		H18	63	59	10
		H38	60	50	15

2.2.2 การทำกรรมวิธีทางความร้อน (Heat treatment)

วิธีนี้อาศัยความร้อนในการทำให้เนื้อของอลูมิเนียมเปลี่ยนแปลงไปในทางที่แข็งแรงขึ้น เฉพาะอลูมิเนียมกลุ่ม 2xxx 4xxx 6xxx 7xxx เท่านั้นที่สามารถทำให้แข็งแรงขึ้นโดยวิธีนี้ และกลุ่มนี้จะมีชื่อเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าเป็นพวกที่ทำกรรมวิธีทางความร้อนได้

อลูมิเนียมกลุ่มที่เหลือคือ 1xxx 3xxx 4xxx (บางตัว) 5xxx เป็นพวกที่ไม่อาจปรับปรุงสมบัติทางกลให้แข็งแรงเด่นชัดโดยการทำกรรมวิธีทางความร้อน

2.3 ชนิดของกรรมวิธีทางความร้อนที่ทำกับอะลูมิเนียม

2.3.1 การทำให้ธาตุผสมละลายเป็นเนื้อเดียวกับอะลูมิเนียม

วิธีนี้เรียกสั้นๆ ได้ว่า อบละลาย ซึ่งใช้หลักที่ว่า ความสามารถในการละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกับอะลูมิเนียมของธาตุผสมที่สำคัญ อย่างเช่น ทองแดงนั้นเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิสูง ธาตุผสมละลายได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เพราะฉะนั้นถ้าเอาอะลูมิเนียมที่ผสมทองแดงให้ร้อนขึ้นไปจนถึง 540 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานพอให้ทองแดงที่ผสมอยู่ซึ่งไม่เกินจุดอิ่มตัวละลายเข้าไปในเนื้อของอะลูมิเนียมให้หมด จากนั้นก็ทำให้อะลูมิเนียมเย็นตัวอย่างรวดเร็ว โดยการชุบน้ำ เนื่องจากเย็นตัวเกิดขึ้นเร็วมาก ทองแดงที่เกินจุดอิ่มตัวที่อุณหภูมิห้องจึงถูกกักอยู่ในเนื้ออะลูมิเนียมและไม่มีโอกาสเคลื่อนที่แยกตัวออกจากเนื้ออะลูมิเนียมเป็นเฟสใหม่

เมื่อมองในระดับจุล โครงสร้างอะตอมของทองแดงถือเป็นสิ่งแปลกปนเมื่ออยู่ในเนื้อของอะลูมิเนียมทำให้การเรียงตัวของอะตอมของอะลูมิเนียมบิดเบี้ยวไปจากที่ควรจะเป็น ก่อให้เกิดความเครียดขึ้น และมีผลให้โลหะสร้างแรงต้านทานต่อแรงทางกลภายนอกที่มากกระทำได้มากขึ้น คือโลหะมีความแข็งแรงมากขึ้น อันเป็นผลจากการที่มีทองแดงละลายผสมอยู่ในเนื้อ

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกลของ Al-4.5% Cu ที่ผ่านการอบให้ทองแดงละลายเป็นเนื้อเดียวกับอะลูมิเนียม

สภาพของโลหะ	เทนซิลล์เครื่อง ksi	ยิลด์สเตร็ง ksi	ความยืด ใน 2 นิ้ว (%)	ความแข็ง BHN
เพิ่งได้จากการหล่อใหม่ๆ	20.1	8.8	7.5	45
อบละลายที่ 540c 1 ชม. แล้วชุบน้ำ	32.2	22.6	5.5	76
อบละลายที่ 850 c 8 ชม. แล้วชุบน้ำ	40.2	22.4	14.6	74
อบละลายที่ 540 c 40 ชม. แล้วชุบน้ำทิ้งไว้ 2 วัน	42.3	24	19.0	83
อบละลายที่ 540 c 40 ชม. ชุบแล้วทดสอบทันที	35.8	17.4	20.7	62

2.3.2 การทำให้แข็งโดยเกิดการแยกเฟสใหม่

วิธีนี้กระทำต่อเนื่องจากการทำให้ธาตุผสมละลายเข้าเป็นเนื้อเดียวกับอะลูมิเนียม ดัง ได้กล่าวในข้อ 1 และจะขอยกตัวอย่างโลหะอะลูมิเนียมผสมทองแดงเพื่ออธิบายหลักการทำแบบนี้

ทองแดงที่มีปริมาณเกินจุดอิ่มตัวแต่ละลายอยู่เป็นเนื้อเดียวกับอะลูมิเนียมมันไม่มีเสถียรภาพ มันพยายามก่อตัวเป็นเฟสใหม่แยกตัวออกจากเนื้ออะลูมิเนียม การก่อตัวนี้ต้องอาศัยการเคลื่อนที่ของทั้งอะตอมอะลูมิเนียมและของทองแดง แต่การเคลื่อนที่ของอะตอมในเนื้อโลหะในสภาพของแข็งทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าหากมากในทางปฏิบัติถือว่าไม่เกิดขึ้น จึงต้องมีการเผาให้อะลูมิเนียมร้อนขึ้นเพื่อช่วยให้อะตอมของธาตุในเนื้อโลหะสามารถเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น อุณหภูมิที่ใช้เผาอยู่ในช่วง 150-180 องศาเซลเซียส

เนื่องจากเฟสใหม่ที่จะเกิดจากทองแดงที่เกินจุดอิ่มตัวกับอะลูมิเนียมบางส่วนนั้นมีระบบผลึกแตกต่างจากระบบของเนื้ออะลูมิเนียมที่มีอยู่เดิม ดังนั้น ในช่วงของการจุดของเฟสใหม่นี้ อะตอมทั้งของธาตุทองแดงและอะลูมิเนียมต้องขยับตัวไปอยู่ในตำแหน่งที่สมดุลของเฟสใหม่ ความร้อนไม่สอดคล้องในเรื่องขนาดและรูปร่างของผลึกของเฟสใหม่และเฟสเก่าก่อให้เกิดสเตรนขึ้นในเนื้อของอะลูมิเนียม ทำให้โลหะสามารถต้านทานต่อแรงกระทำได้สูงขึ้น คือแข็งแรงมากขึ้น

การทำกรรมวิธีทางความร้อนแบบนี้จึงเป็นการให้พลังงานที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดภาวะของการเริ่มจุดเป็นเฟสใหม่พอดี บางครั้งก็เรียกวิธีการนี้ว่า การบ่ม (Aging)

อนึ่ง ความแข็งแรงของโลหะจะมีมากเฉพาะ ในช่วงที่อยู่ระหว่างขบวนการจุดของเฟสใหม่เท่านั้นถ้าผ่านพ้นช่วงนี้ไปถึงขั้นที่เกิดเฟสใหม่เป็นรูปร่างที่แน่ชัดจากเนื้ออะลูมิเนียมเดิมแล้ว อะตอมของธาตุในเฟสใหม่จะไม่เห็นขยับกับอะตอมของธาตุในเฟสเก่า หมายความว่าไม่เกิดความเครียด และความแข็งแรงของอะลูมิเนียมจะลดลงกว่าเดิม ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การบ่มมากเกินไป (overaging)

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกลของอะลูมิเนียมที่ผ่านการอบละลายและบ่มที่ภาวะต่าง ๆ (แผ่นอะลูมิเนียมหนา ½ นิ้ว)

ชนิด	ธาตุผสมที่สำคัญ, %	ภาวะ	เทนไซล์ตตริ่ง (ksi.)	ยิลด์ตตริ่ง (ksi.)	ความยืดใน 2 นิ้ว(%)
2014	4.4 Cu, 0.8 Mn, 0.4 Mg	O	27	14	22
		T4	63	40	18
		T6	70	60	10
2024	4.5 Cu, 0.6 Mn, 1.5 Mg	O	27	11	20
		T4	68	47	20
		T6	69	57	10
		T86	75	71	6
Alclad 2024	(5% thickness 1100 Al eachside)	T86	64	42	19
			70	66	6
6061	1.0 Mg, 0.6 Si, 0.2 Cr	O	18	8	25
		T4	35	21	25
		T6	45	40	12
		T91	59	57	6
7075	5.5 Zn, 2.5 Mg, 1.5 Cu, 0.3 Cr	O	33	15	17
		T6	83	73	11
Alclad 7075	(5% thickness 1100 Al eachside)	O	32	14	17
		T6	76	67	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 อุณหภูมิที่ใช้ทำการกรรมวิธีทางความร้อนกับอะลูมิเนียมชนิดต่าง ๆ

ชนิด	อบอ่อน			อบละลาย			แยกเฟสใหม่		
	อุณหภูมิ (c)	เวลา (ชม.)	ภาวะ	อุณหภูมิ (c)	เวลา (ชม.)	ภาวะ	อุณหภูมิ (c)	เวลา (ชม.)	ภาวะ
1100	343	a	O						
3003	412	a	O						
3004	400	a	O						
5052	343	a	O						
2014	412	a	O	505	a	T4	170	10	T6
2017	412	a	O	505	a				
2024	412	a	O	490	a	T4	190	9	T84
							190	12	T81
7075	412	a	O	465	a	T4	120	24	T6
2025	412	a	O	515	a	T4	170	10	T6
4032	412	a	O	510	a	T4	170	10	T6
6061	412	a	O	520	a		160 or 175	18 8	T6 T6

a คือ เวลาที่ใช้ขึ้นกับขนาดและรูปทรงของอะลูมิเนียม

2.3.3 การอบอ่อน

วิธีนี้ทำให้โลหะคลายความเครียดและความเค้นตกค้างต่างๆ ที่สะสมอยู่ในเนื้อโลหะภายหลังจากการขึ้นรูปทางกลมา ผลก็คือ ทำให้โลหะมีความแข็งแรงลดลง แต่ความเหนียวเพิ่มมากขึ้น ทำให้สามารถรับการแปรรูปทางกลเพิ่มขึ้นได้อีกโดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหักและยังใช้แรงทางกลน้อยลง กรรมวิธีนี้จึงนิยมใช้แทรกอยู่ระหว่างกรรมวิธีการรีดแผ่นอะลูมิเนียม ซึ่งเริ่มจากท่อนอะลูมิเนียมหนาหลายนิ้ว เพื่อรีดให้เป็นแผ่นอะลูมิเนียมห่ออาหารหรือห่อบุหรี เนื่องจากปริมาณการแปรรูปจากวัตถุดิบเริ่มแรกจนเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปนั้นมีมาก ถ้าวัดไปเรื่อยๆ โดยไม่อบอ่อน สเตรนและสเตรสตกค้างในเนื้อโลหะจะมากขึ้นไปจนทำให้แผ่นอลูมิเนียมขาดได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีอบอ่อนแทรกเข้าระหว่างขบวนการ เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับอะลูมิเนียมก่อนจะเริ่มรีดต่อไป

2.4 คุณสมบัติทางกลของวัสดุ

ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจะต้องคำนวณหาขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ โดยคำนึงถึงคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นสำคัญ ซึ่งจะพบว่า มีชื่อเรียกต่างๆ อยู่มาก ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการอ้างอิงต่อไปจึงจะได้นิยามความหมายของชื่อต่างๆ ไว้พอสังเขปดังต่อไปนี้

2.4.1 ความต้านทานแรงดึงอัลติเมต (Ultimate tensile strength) เป็นความเค้นสูงสุดที่วัสดุจะได้รับ ซึ่งคำนวณได้จากการนำแรงที่ใช้ดึงวัสดุตัวอย่างหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิม ค่าความต้านทานแรงดึงอัลติเมตจะมีคุณสมบัติเฉพาะสำหรับแต่ละวัสดุ ดังตารางที่ 2.5

2.4.2 ความต้านทานแรงดึงคราก (Yield strength) เป็นจุดที่ชิ้นทดสอบยืดออกได้มากโดยที่เพิ่มแรงอีกเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งแทนด้วยจุด B หรือเรียกว่าจุดคราก ความเค้นที่จุดนี้ถือเป็นหลักในการออกแบบต่างๆไป สำหรับวัสดุที่ไม่มีจุดคราก เช่น เหล็กหล่อ ก็อาจใช้ความต้านทานแรงดึงเป็นหลักในการออกแบบหรืออาจจะหาความเค้นที่เรียกว่า ความเค้นที่จุดยืดถาวร (Proof stress) มาใช้แทนความต้านทานแรงดึงคราก โดยลากเส้นขนานกับส่วนที่เป็นกราฟตามเปอร์เซ็นต์ของความเครียดที่ต้องการดัดรูป โดยทั่วไปแล้วมักใช้ 0.2 เปอร์เซ็นต์ และเพื่อแสดงความแตกต่างระหว่างความเค้นที่จุดยืดถาวรกับความเค้นต้านแรงดึงคราก จึงใช้สัญลักษณ์แทนความเค้นที่จุดยืดถาวร 0.2 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจเรียกสั้นๆว่าความเค้นพิสูจน์ 0.2 เปอร์เซ็นต์ความต้านทานแรงดึงคราก (Yield strength) จะมี คุณสมบัติเฉพาะสำหรับแต่ละวัสดุ ดังตารางที่ 2.6

2.4.3 ยังโมดูลัส (Young's modulus) หรือ โมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) เป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดในส่วนที่กราฟเป็นเส้นตรง ค่ายังโมดูลัสจะมี คุณสมบัติเฉพาะสำหรับแต่ละวัสดุ ดังตารางที่ 2.5

2.4.4 โมดูลัสเฉือน (Shear modulus) หรือ โมดูลัสความแข็งเกร็ง (modulus of rigidity) ในการทดสอบชิ้นส่วนโดยใช้แรงเฉือนแล้วเขียนกราฟระหว่างความเค้นเฉือน (Shear Stress) กับความเครียดเฉือน (shear strain) ก็จะได้กราฟลักษณะเดียวกับการทดสอบแรงดึง อัตราส่วนระหว่างความเค้นเฉือนต่อความเครียดเฉือนในส่วนที่กราฟเป็นเส้นตรง เรียกว่า โมดูลัสเฉือน

2.4.5 ค่าความปลอดภัย (Safety factor) โดยทั่วไปแล้วค่าความปลอดภัยหมายถึง ตัวเลขที่นำไปหารค่าความต้านทานแรงดึงหรือความต้านทานแรงดึงครากของวัสดุ เพื่อให้ได้ความเค้นใช้งาน (Working stress) ในชิ้นส่วนที่กำลังออกแบบ ซึ่งเรียกสั้นๆว่า ความเค้นออกแบบ (Design stress) หรือความเค้นใช้งาน

ตารางที่ 2.5 Modulus of Elasticity

Metals	Modulus of Elasticity	
	MPa	(Mlb/n ²)
Aluminum and alloys	69 x 10 ³	10
Cast iron	138 x 10 ³	20
Copper and alloys	110 x 10 ³	16
Iron	209 x 10 ³	30
Lead	21 x 10 ³	3
Magnesium	48 x 10 ³	7
Nickel	209 x 10 ³	30
Steel	209 x 10 ³	30
Titanium	117 x 10 ³	17
Tungsten	407 x 10 ³	59

ตารางที่ 2.6 Yield Strength & Tensile Strength

Metals	Yield Strength		Tensile Strength	
	MPa	(lb/n ²)	MPa	(lb/n ²)
Aluminum, annealed	28	4,000	69	10,000
Aluminum, CW	105	15,000	125	18,000
Aluminum alloys	175	25,000	350	50,000
Cast iron	275	40,000	275	40,000
Copper, annealed	70	10,000	205	30,000
Copper alloys	205	30,000	410	60,000
Magnesium alloys	175	25,000	275	40,000
Nickel, annealed	150	22,000	450	65,000
Steel, low C	175	25,000	300	45,000
Steel, high C	400	60,000	600	90,000
Steel, alloy	500	75,000	700	100,000
Steel, stainless	275	40,000	650	95,000
Titanium, pure	350	50,000	515	75,000
Titanium alloy	800	12,000	900	130,000

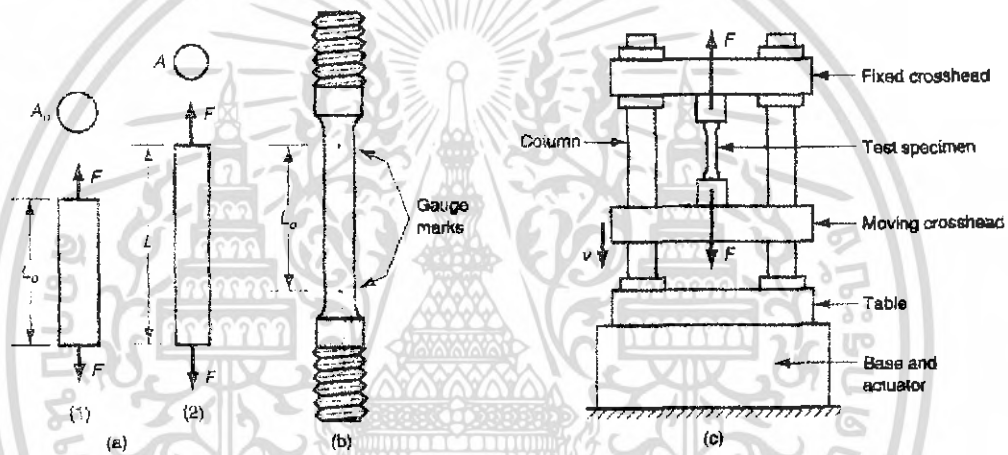
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ

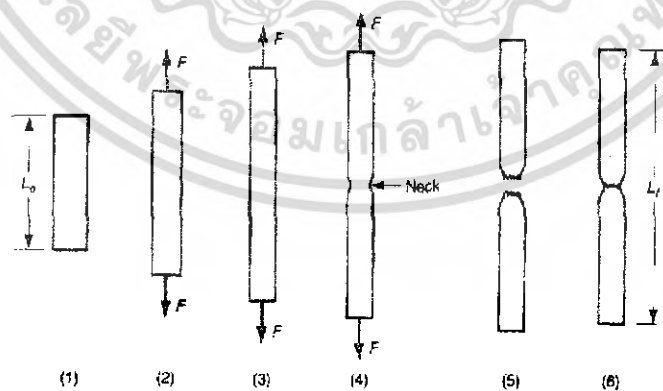
2.6.1 แรงดึง (Tensile Properties)

การทดสอบการดึง เป็นการศึกษาค้นคว้าความสัมพันธ์ของ ความเค้น กับความเครียด ของวัสดุ ในการทดสอบทำได้โดยการดึงวัสดุในแนวตั้งจนขาด การดึงแบบนี้ทำให้วัสดุมีความยาวเพิ่มขึ้น และเส้นผ่านศูนย์กลางลดลงบริเวณที่ขาดจะมีลักษณะเป็นคอคอดดังรูปที่ 2.2

การทดสอบมีดังนี้ คือ เตรียมชิ้นทดสอบให้มีลักษณะดังรูปที่ กำหนด ระยะ L_0 เป็นระยะความยาวของชิ้นทดสอบก่อนทำการทดสอบ A_0 เป็นพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบก่อนทำการทดสอบ จากนั้นนำชิ้นส่วนเข้าเครื่องทดสอบ โดยจะเพิ่มแรงดึงทีละน้อยในแนวตั้ง จนกระทั่งชิ้นงานที่ทดสอบขาด ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 การทดสอบแรงดึงตามแนวตั้ง



รูปที่ 2.3 วัสดุขณะรับแรงจนกระทั่งขาด

จากการทดสอบนี้จะ ได้ค่าคุณสมบัติของวัสดุที่สำคัญ 2 ค่า คือ Engineering stress –strain และ True stress –strain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ความเค้น และความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering stress-strain)

เป็นค่าที่เหมาะสมแก่การนำไปออกแบบ เครื่องมือทางงานวิศวกรรมเช่น แม่พิมพ์ หัวอัด สามารถคำนวณจากสมการที่ (2.1) เป็นสมการค่าความเค้นทางวิศวกรรม สามารถหาค่าความเครียดได้จากสมการที่ (2.2)

$$\sigma_e = \frac{F}{A_0} \quad (2.1)$$

ความเค้นทางวิศวกรรม = σ_e , MPa(lb/in²)

แรงที่กระทำกับชิ้นทดสอบ = F , lb(N)

พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบก่อนทำการทดสอบ = A_0 , mm²(in.²)

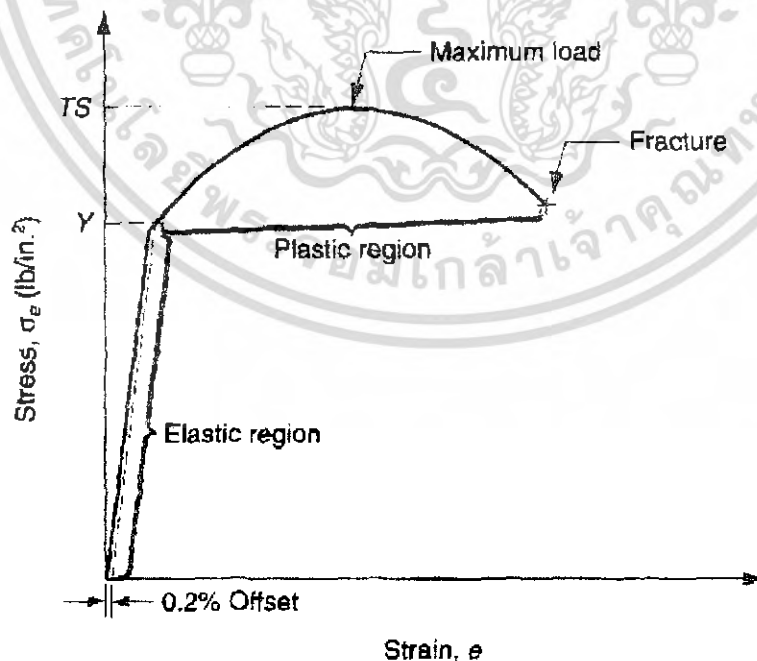
$$e = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2.2)$$

ความเครียดทางวิศวกรรม = e , MPa(lb/in²)

ความยาวของชิ้นทดสอบหลังจากรับแรง = L , mm.(in)

ความยาวของชิ้นทดสอบก่อนการรับแรง = L_0 , mm.(in)

นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาเขียนกราฟจะลักษณะดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟ Engineering stress-strain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ Engineering stress –strain จะทราบค่าต่างๆดังนี้

1. แรงสูงสุด (Maximum load) เป็นจุดที่ชิ้นทดสอบรับแรงได้สูงสุด
2. ค่าเริ่มต้นการเสียรูปของวัสดุ (Yield point) เป็นจุดที่ชิ้นทดสอบ เริ่มเกิดการเสียรูปของ คือ เริ่มเปลี่ยนแปลงจากช่วง Elastic region เข้าสู่ช่วง Plastic region
3. ช่วงรับแรงก่อนการเสียรูปของวัสดุ (Elastic region) เป็นช่วงที่วัสดุที่ใช้ทดสอบเริ่มรับแรงที่เพิ่มขึ้นทีละน้อยจนถึงจุด Y กราฟในช่วงนี้จะเป็นเส้นตรง
4. ช่วงการเสียรูปของวัสดุ (Plastic region) เป็นช่วงที่ต่อเนื่องมาจาก Elastic region ในช่วงนี้วัสดุที่ใช้ทดสอบจะรับแรงต่อไปเรื่อยๆ วัสดุจะเริ่มเสียรูป และจะขาดในที่สุด กราฟในช่วงนี้จะบอกถึงความเหนียวของวัสดุแต่ละชนิดด้วย
5. Tensile strength หรือ Ultimate tensile strength คำนีหาได้จากสมการที่ (2.3)

$$TS = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (2.3)$$

Tensile strength = T.S. , MPa(lb / in²)

แรงสูงสุด = F_{max} , lb(N)

พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบก่อนทำการทดสอบ = A₀ , mm²(in.²)

6. Elongation และ Area reduction ดังสมการที่ (2.4), สมการที่ (2.5)

$$EL = \frac{L_f - L_0}{L_0} \quad (2.4)$$

อัตราส่วนความยาวของชิ้นทดสอบ = EL

ความยาวของชิ้นทดสอบหลังการขาดวัดจากจุดที่กำหนดไว้ตอนแรก = L_f , mm.(in)

ความยาวของชิ้นทดสอบก่อนการรับแรง = L₀ , mm.(in)

$$AR = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \quad (2.5)$$

อัตราส่วนของพื้นที่หน้าตัด = AR

พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบบริเวณรอยขาดของชิ้นทดสอบ = A_f , mm²(in.²)

พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบก่อนทำการทดสอบ = A₀ , mm²(in.²)

สามารถนำค่าต่างๆจากกราฟชนิดนี้ มาออกแบบเครื่องมือทางวิศวกรรม โดยจะทราบถึง ค่าก่อนการเสีรูปของวัสดุ ค่าความเหนียว และ ค่าแรงกระทำสูงสุดที่วัสดุรับได้ ค่า Elongation มีเป็นค่าคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 Elongation

Material	% Elongation	Material	% Elongation
Metals		Metals	
Aluminum, annealed	40	Steel, low C	30
Aluminum,CW	8	Steel, high C	10
Aluminum alloys, annealed	20	Steel, alloy	20
Aluminum alloys, heat treated	8	Steel, stainless, austenitic	55
Aluminum alloys, cast	4	Titanium, nearly pure	20
Cast Iron, gray	0.6	Zinc alloy	10
Copper, annealed	45		
Copper,CW	10		
Copper: brass, annealed	60		
Magnesium alloys	10		
Nickel, annealed	45		

2.6.3 ความเค้น และความเครียดจริง (True stress –strain)

เป็นค่าที่เหมาะสมกับการนำไปออกแบบกระบวนการผลิตวัสดุต่างๆ ค่าความเค้นจริงสามารถคำนวณจากสมการที่ (2.6)

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.6)$$

ความเค้นจริง = σ , MPa(lb/in²)

แรงที่กระทำกับชิ้นทดสอบ = F ,lb(N)

พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ = A ,mm²(in.²)

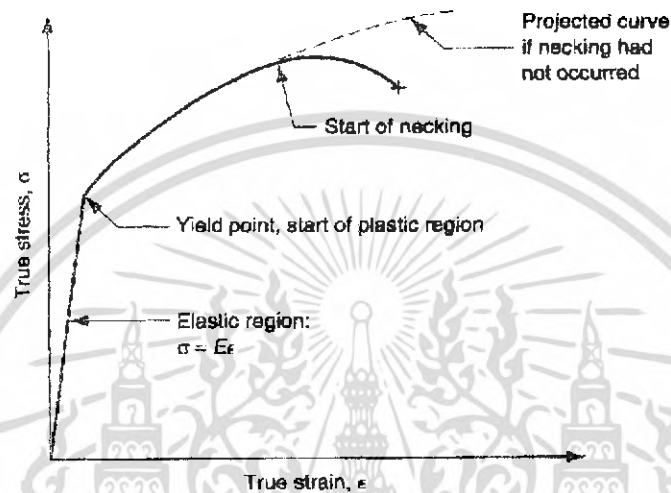
ค่าความเครียดจริงสามารถคำนวณจากสมการที่ (2.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\epsilon = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0} \quad (2.7)$$

ความเครียด = ϵ , MPa(lb/in²)

$$L = L_f$$



รูปที่ 2.5 กราฟ True stress–strain

จากรูปที่ 2.5 กราฟ True stress–strain จะทราบค่าต่างๆดังนี้

1. **Elastic region** เป็นช่วงที่วัสดุที่ใช้ทดสอบเริ่มรับแรงที่เพิ่มขึ้นทีละน้อยจนถึงจุด Y กราฟในช่วงนี้จะ เป็นเส้นตรง
2. **Yield point** เป็นจุดที่วัสดุที่ใช้ทดสอบ เริ่มเกิดการเสียรูปของ คือ เริ่มเปลี่ยนแปลงจากช่วง Elastic region เข้าสู่ช่วง Plastic region
3. **Start of necking** เป็นจุดที่วัสดุที่ใช้ทดสอบเริ่มมีคอคอดและจะขาดในบริเวณนี้ ได้ความสัมพันธ์ของ Engineering strain กับ True strain ดังสมการที่ (2.8)

$$\epsilon = \ln(1 + e) \quad (2.8)$$

และได้ความสัมพันธ์ของ Engineering stress กับ True stress ดังสมการที่ (2.9)

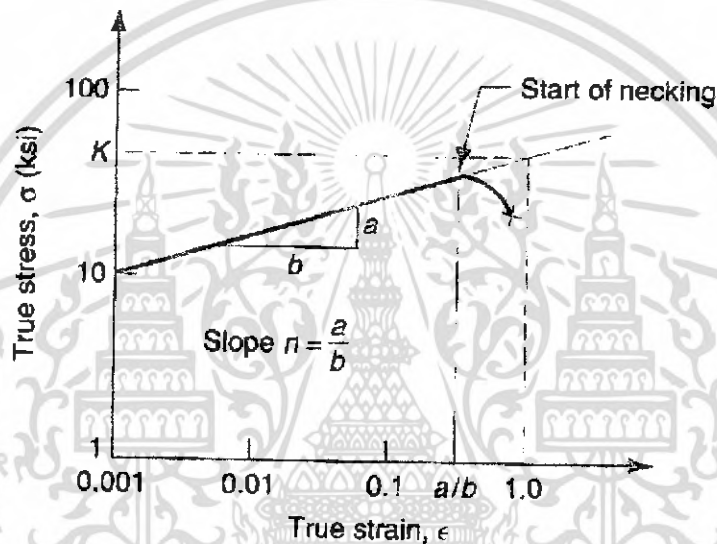
$$\sigma = \sigma_e(1 + e) \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบวนการทางวัสดุศาสตร์สามารถนำช่วง Plastic มาคำนวณหาค่า Strain hardening โดยนำกราฟ True stress – strain มาใช้ในการคำนวณ แต่ไม่สามารถนำกราฟ Engineering stress – strain เพราะค่าที่ได้จะผิดพลาดเนื่องจากการเกิดลอคคอด

2.6.4 Strain hardening or Work hardening

เป็นองค์ประกอบสำคัญในการก่อเกิดรูปร่างของวัสดุในกระบวนการผลิต การพิจารณาพฤติกรรมของโลหะ จะนำกราฟ True stress-strain ในช่วง Plastic มาเขียนโดยใส่ค่า log จะได้กราฟที่เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.6 กราฟจะแสดงพฤติกรรมการไหลของวัสดุในช่วง Plastic



รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์การไหล

จากความสัมพันธ์สมการการไหลจะได้สมการที่ (2.10)

$$\sigma = K\epsilon^n \quad (2.10)$$

ความเค้นจริง = σ , MPa(lb/in²)

ค่าคงที่ความแข็งของวัสดุ = K

ความชันของกราฟ = n

Strain hardening or Work hardening เป็นค่าคุณสมบัติเฉพาะของแต่ละวัสดุสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 Strength Coefficient, K & Strain Hardening

Metals	Strength Coefficient, K		Strain Hardening
	MPa	(lb/in ²)	Exponent, n
Aluminum, annealed	175	25,000	0.20
Aluminum, CW	240	35,000	0.15
Aluminum alloys	400	60,000	0.1
Copper, pure, annealed	300	45,000	0.50
Copper alloy: brass	700	100,000	0.35
Steel, high C, annealed	500	75,000	0.25
Steel, low C, annealed	850	125,000	0.15
Steel, alloy, annealed	700	100,000	0.15
Steel, stainless, austenitic, annealed	1200	175,000	0.40

2.6.5 แรงอัด (Compression Properties)

การทดสอบการอัดของวัสดุ เป็นการให้แรงในแรงดึงกระทำกับชิ้นทดสอบดังรูปที่ 2.7 จนกระทั่งทำให้ชิ้นทดสอบมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้น สามารถคำนวณหาค่า Engineering stress -- strain ได้ดังสมการที่ (2.11), (2.12)

$$\sigma_e = \frac{F}{A_0} \quad (2.11)$$

ความเค้นทางวิศวกรรม = σ_e , MPa(lb/in²)

แรงที่กระทำกับชิ้นทดสอบ = F , lb(N)

พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบก่อนทำการทดสอบ = A_0 , mm²(in.²)

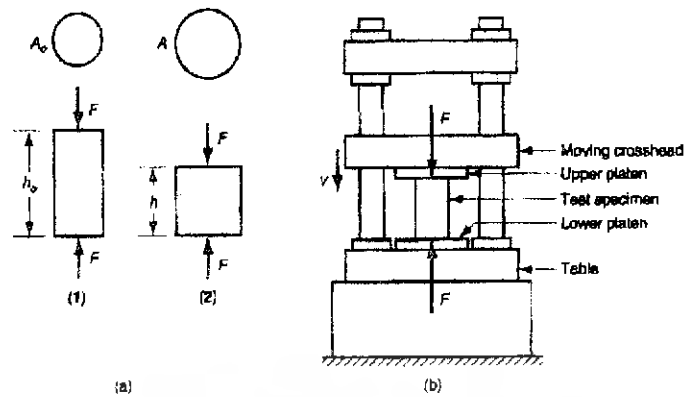
$$e = \frac{h - h_0}{h_0} \quad (2.12)$$

ความเครียดทางวิศวกรรม = e , MPa(lb/in²)

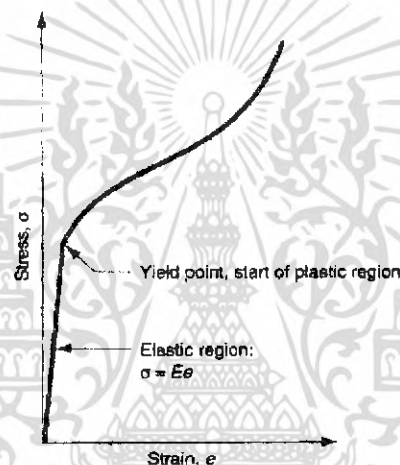
ความยาวของชิ้นทดสอบหลังการทดสอบ = h , mm.(in)

ความยาวของชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบ = h_0 , mm.(in)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การทดสอบการยืด



รูปที่ 2.8 กราฟ Engineering stress-strain ของวัสดุหลังจากการยืด

2.4.6 การยืดโดยใช้แม่พิมพ์แบบเปิด (Open die forging)

การยืดโดยใช้แม่พิมพ์แบบเปิด แม่พิมพ์จะมี 2 ชิ้นแยกกัน และลักษณะชิ้นงานจะเป็นทรงกระบอกดังรูปที่ 2.9 การวิเคราะห์การยืดแม่พิมพ์แบบเปิดจะเป็นการพิจารณาพฤติกรรมการไหลของวัสดุขณะยืด ดังรูปที่ จะ ได้ค่า True strain ดังสมการที่ (2.13)

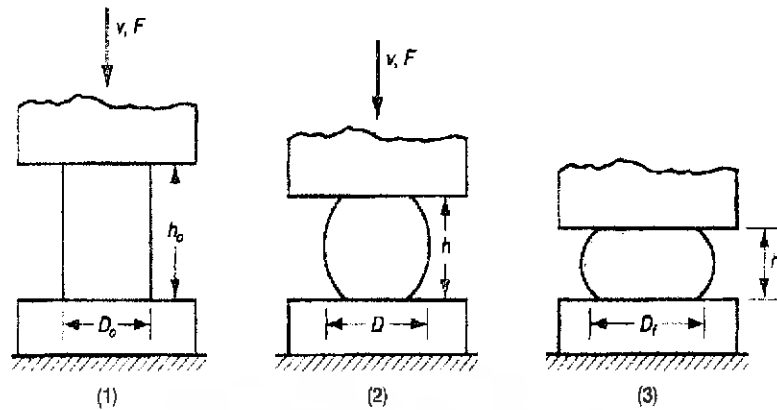
$$\epsilon = \ln \frac{h_0}{h} \quad (2.13)$$

True strain = ϵ , $MPa(lb / in^2)$

ความสูงเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ = h_0 , $mm.(in)$

ความสูงขณะทำการยืดของชิ้นทดสอบ = h , $mm.(in)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การอัดแบบแม่พิมพ์เปิด

สามารถคำนวณแรงที่อัดโดยไม่พิจารณาแรงเสียดทาน ได้ดังสมการที่ (2.14)

$$F = Y_f A \quad (2.14)$$

แรงที่อัด = F , lb(N)

Flow stress = Y_f , MPa(lb/in²)

พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน = A , mm²(in.²)

เมื่อแรงอัดเพิ่มขึ้นจะทำให้ ความสูงของชิ้นทดสอบลดลง และพื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบจะเพิ่มขึ้น ในการอัดจะเกิดแรงเสียดทานขึ้นระหว่างชิ้นทดสอบกับแม่พิมพ์ สามารถคำนวณแรงอัดได้ดังสมการที่ (2.15)

$$F = K_f Y_f A \quad (2.15)$$

แรงที่อัด = F , lb(N)

Flow stress = Y_f , MPa(lb/in²)

ค่ารูปร่างแรงของการอัด = K_f (หาได้จากสมการที่ (2.16))

พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน = A , mm²(in.²)

$$K_f = 1 + \frac{0.4\mu D}{h} \quad (2.16)$$

ค่าคงที่แรงเสียดทาน = μ

พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่สัมผัสกับแม่พิมพ์ = D , mm(in)

ความสูงขณะทำการอัดของชิ้นทดสอบ = h , mm(in)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

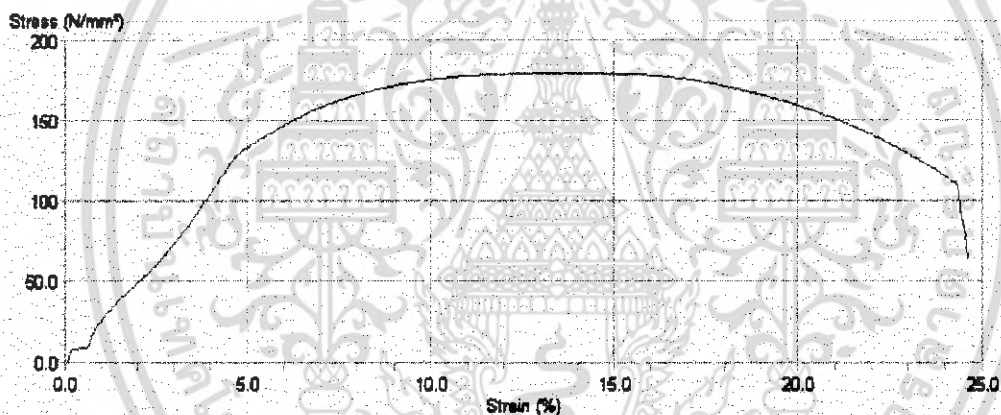
การออกแบบภายในแม่พิมพ์และการวิเคราะห์แรง

3.1 การออกแบบความยาวภายในแม่พิมพ์

เราจะทำการออกแบบความยาวแม่พิมพ์ โดยให้มีความยาวเท่ากับอลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูปและนำขนาดแม่พิมพ์ที่ได้มาจำลองการขึ้นรูปของอลูมิเนียมและเหล็กข้ออ้อย

3.1.1 ข้อมูลคุณสมบัติของอลูมิเนียม

อลูมิเนียมที่ใช้ทดสอบจะต้องใช้อลูมิเนียมเกรดเดียวกันตลอดและหาค่าคุณสมบัติเฉพาะของตัวเองเพื่อนำข้อมูลที่ได้ป้อนลงโปรแกรม ABAQUS โดยค่าคุณสมบัติเฉพาะของอลูมิเนียมที่ใช้ทดสอบมีข้อมูลดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ ความเค้น-ความเครียด

จากกราฟเราจะได้คุณสมบัติเฉพาะของอลูมิเนียมที่ใช้ทดสอบดังนี้

$$\text{Stress @ Yield} = 178.273 \text{ N / mm}^2$$

$$\text{Stress @ Peak} = 180.283 \text{ N / mm}^2$$

$$\text{Young Modulus} = 2,4351 \text{ N / mm}^2$$

$$\text{Strain @ Yield} = 7.3 \%$$

$$\text{Strain @ Peak} = 12 \%$$

3.1.2 ข้อมูลคุณสมบัติของเหล็กข้ออ้อย

$$\text{Stress @ Yield} = 366 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Stress @ Peak} = 585 \text{ N/mm}^2$$

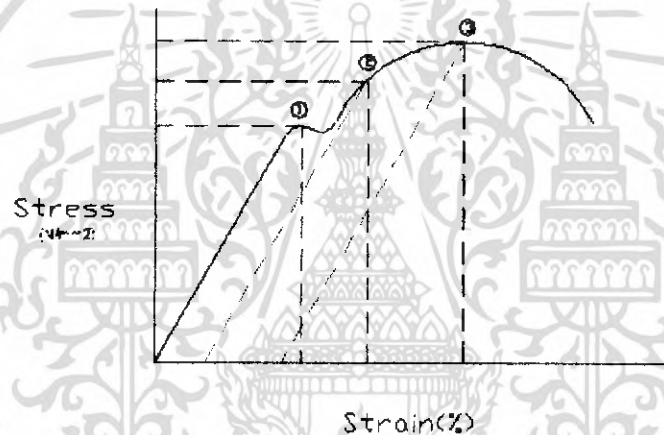
$$\text{Young Modulus} = 4,160 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Strain @ Yield} = 0.088 \%$$

$$\text{Strain @ Peak} = 0.310 \%$$

3.1.3 การคำนวณค่าความเครียดพลาสติก (Plastic strain)

เราสามารถหาค่าความเครียดพลาสติก(Plastic Strain) โดยความเครียดพลาสติกเป็นค่าความเครียดที่นำมาพิจารณาหลังจากเลยจุดครากมาแล้วดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างกราฟแสดงความสัมพันธ์ ความเค้น-ความเครียด

ดังนี้

เราจะพิจารณาจุดที่เกิดค่าความเครียดพลาสติก(Plastic Strain) 3 จุด โดยแต่ละจุดสามารถหาได้

จุดที่ 1 เป็นจุดที่เกิดความเค้นครากจุดนี้เป็นจุดที่อลูมิเนียมที่บิดออกไปแล้วสามารถหดตัวกลับได้ ระยะเท่าเดิม เป็นจุดที่เริ่มเกิดความเครียดพลาสติก

จุดที่ 2 เป็นจุดบนกราฟและอยู่ระหว่าง จุดความเค้นคราก(จุดที่ 1)และความเค้นสูงสุด(จุดที่ 3)ถ้าหากอลูมิเนียมถูกบิดจนถึงจุดนี้ เมื่อปล่อยให้อลูมิเนียมหดตัวจะเกิดระยะบิดขึ้นพิจารณาจากเส้นประที่ตัดกับแกนความเครียด

จุดที่ 3 เป็นจุดที่เกิดความเค้นสูงสุดของอลูมิเนียมเมื่ออลูมิเนียมที่ถูกดึงถึงจุดนี้ถูกปล่อยตัวหดกลับจะเกิดระยะบิดขึ้นถ้าหากพิจารณาจากกราฟระยะบิดของจุด 2 จะมีค่าน้อยกว่า

จากรูปที่ 3.2 สามารถหาจุดแต่ละจุดได้จากสมการเส้นตรงซึ่งจะเป็นสมการเส้นตรง 3 ค่าโดยแกน x จะเป็นค่าความเครียดและแกน y จะเป็นค่าความเค้น ความชันจะมีค่าเท่ากันทั้ง 3 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยึดหยุ่น (Young's Modulus) เมื่อสามารถหาสมการทั้ง 3 เส้นได้แล้ว จุดตัดแกน x จะเป็นค่าความเครียดพลาสติกนั่นเอง เราจะหาค่าความเครียดพลาสติกของอลูมิเนียมดังนี้

จุดที่ 1

สมการเส้นตรงดังสมการที่ (3.1)

$$y = mx + c \quad (3.1)$$

ใส่ค่าความเค้น (σ) แทนแกน y , ค่าความเครียด (ϵ) แทนแกน x , ค่าโมดูลัสความยึดหยุ่น (E) แทนความชัน, ค่าความเครียดพลาสติกจะเป็นจุดตัดของเส้นตรงกับแกนความเครียดดังสมการที่ (3.2)

$$\sigma_1 = E\epsilon_1 + c_1 \quad (3.2)$$

แทนค่า ณ จุดที่ 1 ความเค้นจะเป็นความเค้นครากมีค่า 178.273 เมกะปาสกาล, ความเครียดมีค่า 7.3 เปอร์เซ็นต์, ค่าโมดูลัสความยึดหยุ่นมีค่า 2,435.1 เมกะปาสกาล

$$1.78273 \times 10^8 = (2.4351 \times 10^9 \times 0.073) + c_1$$

$$c_1 = 0$$

สามารถเขียนสมการเส้นตรงใหม่ได้ดังสมการที่ (3.3)

$$\sigma_1 = E\epsilon_1 \quad (3.3)$$

เส้นตรงเส้นนี้จะตัดแกน ความเครียดที่ค่าความเค้นเป็น 0

$$\epsilon_{1, plastic} = 0$$

เพราะฉะนั้นค่าความเครียดพลาสติกของเส้นตรงเส้นนี้คือ 0 ค่าความเครียดพลาสติก ณ จุดที่ 1 จะมีค่าเป็น 0 แสดงว่า ณ เมื่ออลูมิเนียมหดตัวหลังจากถึงจุดครากระยะยืดตัวจะไม่เปลี่ยนไปซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี

จุดที่ 2

สมการเส้นตรง

$$\sigma_2 = E\varepsilon_2 + c_2$$

แทนค่า ณ จุดที่ 2 ความเค้นจะมีค่า 179 เมกกะปาสคาล, ความเครียดมีค่า 11.7 เปอร์เซ็นต์, ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่า 2,435.1 เมกกะปาสคาล

$$1.79 \times 10^8 = (2.4351 \times 10^9 \times 0.117) + c_2$$

$$c_2 = -105906700$$

สามารถเขียนสมการเส้นตรงใหม่ได้ดังสมการที่ (3.4)

$$\sigma_2 = E\varepsilon_2 + (-105906700) \quad (3.4)$$

เส้นตรงเส้นนี้จะตัดแกน ความเครียดที่ค่าความเค้นเป็น 0

$$0 = (2.435 \times 10^9) \varepsilon_{2\text{ plastic}} + (-105906700)$$

$$\varepsilon_{2\text{ plastic}} = 0.044$$

เพราะฉะนั้นค่าความเครียดพลาสติก ณ จุดที่ 2 จะมีค่า 0.044

จุดที่ 3

สมการเส้นตรง

$$\sigma_3 = E\varepsilon_3 + c_3$$

แทนค่า ณ จุดที่ 3 ความเค้นจะเป็นความเค้นสูงสุดมีค่า 180.243 เมกกะปาสคาล, ความเครียดมีค่า 12 เปอร์เซ็นต์, ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นมีค่า 2,435.1 เมกกะปาสคาล

$$1.80243 \times 10^8 = (2.4351 \times 10^9 \times 0.12) + c_3$$

$$c_3 = -111969000$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเขียนสมการเส้นตรงใหม่ได้ดังสมการที่ (3.5)

$$\sigma_3 = E\varepsilon_3 + (-111969000) \quad (3.5)$$

เส้นตรงเส้นนี้จะตัดแกน ความเครียดที่ค่าความเค้นเป็น 0

$$0 = (2.435 \times 10^9) \varepsilon_{3\text{ plastic}} + (-111969000)$$

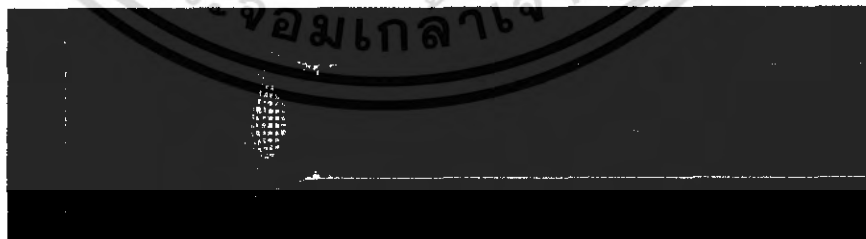
$$\varepsilon_{2\text{ plastic}} = 0.046$$

เพราะฉะนั้นค่าความเครียดพลาสติก ณ จุดที่ 3 จะมีค่า 0.046 และจะมีระยะยืดมากกว่าจุดทั้ง 3 จุด เมื่อนำค่าความเครียดพลาสติกและคูณสมบัติจำเพาะต่างๆป้อนค่าใน โปรแกรมเพื่อหาแรงที่ใช้ในการอัดอลูมิเนียมและแรงที่จับอลูมิเนียมขณะทำการอัด

3.1.4 จำลองความยาวของอลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูป

จากวัตถุประสงค์ของโครงการเราจะทำการขึ้นรูป อลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18,19,20 มิลลิเมตร โดยบริเวณที่ขึ้นรูปจะมีปริมาตรเท่ากันเพราะฉะนั้นเราจะใช้ความยาวของอลูมิเนียมที่ขึ้นรูปมีขนาดเท่ากันทั้งหมด เราจะจำลองหาขนาดความยาวของอลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูป โดยกำหนดให้ขึ้นรูปมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรเนื่องจากการขึ้นรูปที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากที่สุดและเป็นการขึ้นรูปยากที่สุด โดยเราจะจำลองขนาดความยาวต่างๆกันดังนี้

1. จำลองความยาวของอลูมิเนียมที่ขึ้นรูปโดยให้ความยาวเริ่มต้นที่ 43 มิลลิเมตรจะมีรูปร่างหลังจากการขึ้นรูปดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาพการขึ้นรูปอลูมิเนียมความยาว 43 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 อลูมิเนียมหลังจากการขึ้นรูปจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นเนื่องจากเราใช้ อลูมิเนียมที่มีความยาวมากเกินไป และคุณสมบัติของอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่ยืดหยุ่นได้ง่าย เราไม่สามารถนำอลูมิเนียมในลักษณะนี้ไปใช้งานจนถึงทำเกลียวได้

2. จำลองความยาวของอลูมิเนียมให้มีขนาดความยาว 38 มิลลิเมตรจะมีรูปร่างหลังจากการขึ้นรูป ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพการขึ้นรูปอลูมิเนียมความยาว 38 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 3.4 อลูมิเนียมหลังจากการขึ้นรูปจะมีลักษณะเป็นรูปคลื่นอีกเนื่องจากเราใส่ค่าความยาวที่ใช้ขึ้นรูปยาวเกินไป

3. จำลองความยาวของอลูมิเนียมให้มีขนาดความยาว 33 มิลลิเมตรจะมีรูปร่างหลังจากการขึ้นรูป ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ภาพการขึ้นรูปอลูมิเนียมความยาว 33 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 3.5 เมื่อขึ้นรูปอลูมิเนียมรูปร่างของอลูมิเนียมจะมีลักษณะราบเรียบและเหมาะกับการกลึงทำเกลียวได้เพราะฉะนั้นเราจะเลือกความยาวที่ 33 มิลลิเมตรในการขึ้นรูปอลูมิเนียมและเราจะออกแบบความยาวของของแม่พิมพ์ให้มีความยาวที่มากกว่า 33 มิลลิเมตรจึงกำหนดความยาวแม่พิมพ์ที่ 43 มิลลิเมตร

3.2 การออกแบบมุมภายในแม่พิมพ์

เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปมีชิ้นเดียวเพราะฉะนั้นมุมภายในตัวแม่พิมพ์จะมีขนาดคงที่ เรา จะทำการจำลองมุมภายในแม่พิมพ์เพื่อหามุมที่เหมาะสมในการออกแบบ โดยการจำลองนี้เราจะใช้การขึ้น รูปให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรเนื่องจากเป็นการขึ้นรูปที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่มากที่สุดและ เป็นการขึ้นรูปยากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

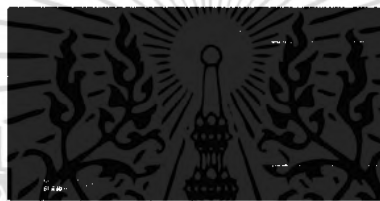
1. จำลองมุมมองศากายในของอลูมิเนียมที่ขึ้นรูปโดยให้มีขนาด 40 องศาจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ภาพแม่พิมพ์ ขนาดมุมมองภายใน 40 องศา

จากรูปที่ 3.6 รูปร่างของอลูมิเนียมจะไม่ราบเรียบไปตามแม่พิมพ์โดยสมบูรณ์เนื่องจากเราใส่มุมมองศากายในมากเกินไป

2. จำลองมุมมองศากายในของอลูมิเนียมที่ขึ้นรูปโดยให้มีขนาด 30 องศาจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ภาพแม่พิมพ์ ขนาดมุมมองภายใน 30 องศา

จากรูปที่ 3.7 อลูมิเนียมจะเกิดการเอียงอาจเนื่องมาจากเราใส่มุมมองศากายที่มีค่ามากเกินไป อลูมิเนียมจะเกิดการบิดเบี้ยวเนื่องจาก ไม่มีตัวแม่พิมพ์มารองรับ

3. จำลองมุมมองศากายในของอลูมิเนียมที่ขึ้นรูปโดยให้มีขนาด 20 องศาจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ภาพแม่พิมพ์ ขนาดมุมมองภายใน 20 องศา

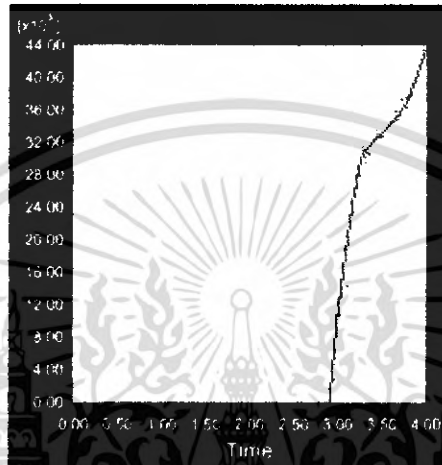
จากรูปที่ 3.8 อลูมิเนียมหลังจากถูกอัดจะมีการขึ้นรูปเป็นอย่างไร รูปร่างของอลูมิเนียมจะมีลักษณะที่สามารถใช้ในงานกลึงทำเกลียวได้ เพราะฉะนั้นเราจะใช้มุมมองศากายใน 40 องศาในการออกแบบแม่พิมพ์

3.3 การวิเคราะห์แรง

3.3.1 การวิเคราะห์แรงที่ขึ้นรูปอลูมิเนียม

เนื่องจากขนาดของอลูมิเนียมที่ใช้ในการขึ้นรูปจะมีขนาดต่างๆกันเราสามารถหาค่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป จากการจำลองขนาดความยาวของอลูมิเนียมให้มีขนาด 33 มิลลิเมตรและมุมมองศกภายใน 20 องศาจะสามารถหาแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปดังนี้

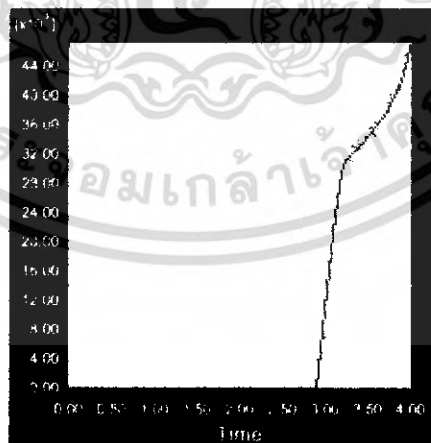
1. การขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตรจะมีลักษณะแรงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขั้นตอนการทำงาน 1

จากรูปจะสังเกตว่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปสุดท้ายจะมีขนาด 43,584 นิวตันซึ่งเป็นแรงสุดท้ายที่ทำให้อลูมิเนียมขยายจนเต็มแม่พิมพ์

2. การขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตรจะมีลักษณะแรงดังรูปที่ 3.10

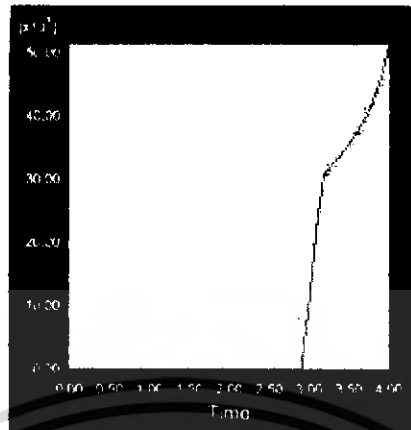


รูปที่ 3.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขั้นตอนการทำงาน 2

จากรูปจะสังเกตว่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปสุดท้ายจะมีขนาด 47,122 นิวตันซึ่งเป็นแรงสุดท้ายที่ทำให้อลูมิเนียมขยายจนเต็มแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรจะมีลักษณะแรงดึงรูปที่ 3.11



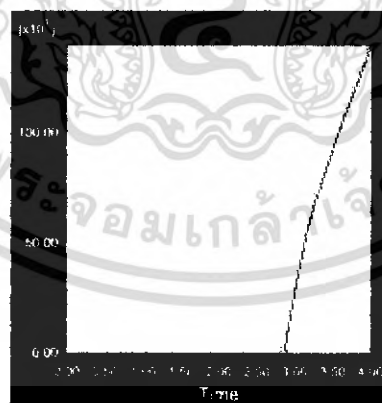
รูปที่ 3.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขั้นตอนการทำงาน 3

จากรูปจะสังเกตว่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปสุดท้ายจะมีขนาด 51,253 นิวตันซึ่งเป็นแรงสุดท้ายที่ทำให้อลูมิเนียมขยายจนเต็มแม่พิมพ์

3.3.2 การวิเคราะห์แรงที่ขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อย

เราจะใช้ขนาดของแม่พิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบมาแล้วในขั้นต้นแต่เปลี่ยนวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปจากอลูมิเนียมเป็นเหล็กข้ออ้อยเพื่อวิเคราะห์แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป

1. การขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตรจะมีลักษณะแรงดึงรูปที่ 3.12

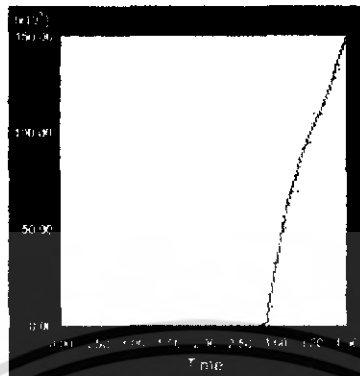


รูปที่ 3.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขั้นตอนการทำงาน 4

จากกราฟเราจะทราบแรงสูงสุดในการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรเป็น 18 มิลลิเมตรจะต้องใช้แรง 139,385 นิวตัน และพบว่าแรงที่ใช้ขึ้นรูปมีขนาดสม่ำเสมอเนื่องจากเหล็กข้ออ้อยเป็นโลหะที่มีความแข็งสูง ความยืดหยุ่นต่ำ การขึ้นรูปจะใช้แรงมากกว่าอลูมิเนียม

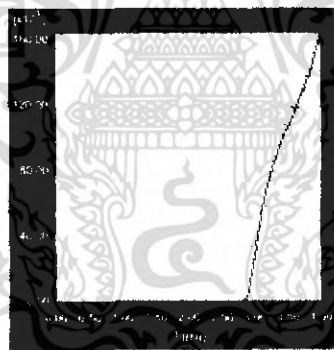
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตรจะมีลักษณะแรงดึงรูปที่ 3.13



- รูปที่ 3.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขั้นตอนการทำงาน 5
จากกราฟเราจะทราบแรงสูงสุดในการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรเป็น 19 มิลลิเมตรจะต้องใช้แรง 150,260 นิวตัน

3. การขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรจะมีลักษณะแรงดึงรูปที่ 3.14

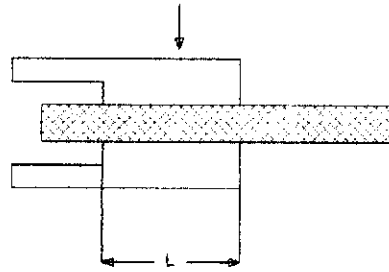


- รูปที่ 3.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับขั้นตอนการทำงาน 6
จากกราฟเราจะทราบแรงสูงสุดในการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรเป็น 20 มิลลิเมตรจะต้องใช้แรง 163,317 นิวตัน

3.3.3 การวิเคราะห์แรงที่ใช้จับยึดอลูมิเนียม

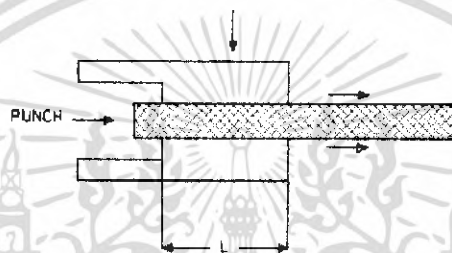
1. คำนวณหาพื้นที่ที่ใช้จับยึดอลูมิเนียมขณะทำการอัด เนื่องจากแท่งอลูมิเนียมที่ทำการอัดเราต้องการที่จะสามารถใช้งานจริงได้ไม่มีข้อจำกัดด้านความยาวของแท่งอลูมิเนียมด้านที่ไม่มีการขึ้นรูป ความยาวด้านที่ไม่ขึ้นรูปสามารถกำหนดเพื่อให้ใช้งานที่เหมาะสมได้จึงได้ทำการออกแบบให้การจับยึดเป็นแบบหนีบบริเวณผิวของอลูมิเนียมดังรูปที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ภาพลักษณะการจับอลูมิเนียม

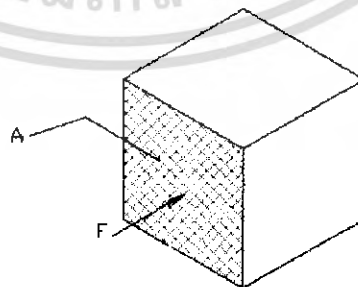
จากรูปสังเกตได้ว่าค่า L ในรูปเป็นปัจจัยสำคัญต่อการจับแท่งอลูมิเนียมถ้าหาก L มีค่าน้อยเมื่อ
ขณะทำการขึ้นรูปแท่งอลูมิเนียมมีโอกาสด้อยไปตามแรงอัดดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ภาพลักษณะการจับอลูมิเนียมที่ไม่เพียงพอ

การคำนวณหาพื้นที่ที่ใช้สัมผัสแท่งอลูมิเนียมมีดังนี้

เหตุผลหลักที่ไม่สามารถจับแท่งอลูมิเนียมได้เนื่องจากผิวสัมผัสของอลูมิเนียมจะเกิดการเสียรูปบริเวณผิวซึ่งก็เกิดความเค้นเฉือนที่มากกว่าความเค้นเฉือนที่จุดครากของผิวอลูมิเนียมเพราะฉะนั้นเราควรหาความเค้นเฉือนที่จุดครากของอลูมิเนียมก่อน เราทราบแล้วว่าความเค้นคราก (σ_y) ของอลูมิเนียมคือ 178.273 เมกกะปาสคาล โดยเป็นความเค้นที่เกิดจากแรงที่กระทำตามพื้นที่หน้าตัดดังรูปที่ 3.17



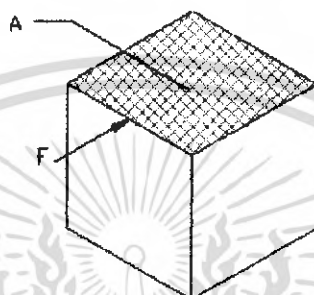
รูปที่ 3.17 ภาพแรงที่กระทำดังฉากกับพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถหาความเค้นครากได้ดังสมการ (3.6)

$$\sigma_y = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

ความเค้นเฉือนเป็นความเค้นที่เกิดจากแรงตามแนวผิวสัมผัสดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ภาพแรงที่กระทำแนวระนาบกับพื้นที่
เราสามารถหาความเค้นเฉือนที่จุดครากได้ดังสมการ (3.7)

$$\tau_y = \frac{F}{A_s} \quad (3.7)$$

จะสังเกตสมการทั้งสองมีลักษณะเหมือนกันแต่ต่างกันที่พื้นที่ที่แรงมากระทำ ความสัมพันธ์ของความเค้นทั้งสองแบบมีความสัมพันธ์ดังสมการ (3.8)

$$\tau_y = 0.5\sigma_y \quad (3.8)$$

ความเค้นคราก (σ_y) ของอลูมิเนียมคือ 178.273 เมกะปาสคาล เราจะได้ความเค้นเฉือนที่มีค่าดังนี้ จากสมการที่ (3.8)

$$\tau_y = 0.5(178.273 \times 10^6) = 89.1365 \times 10^6 \text{ Pa}$$

ความเค้นเฉือนที่ได้มีค่า 89.1365 เมกะปาสคาล ถ้าหากมีแรงที่กระทำให้เกิดความเค้นเฉือนที่มากกว่าความเค้นเฉือนที่จุดครากแล้วผิวอลูมิเนียมจะเสียรูปและถูกดันไปตามแรงที่กระทำเราทราบแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปอลูมิเนียมแล้วเป็นแรงที่ใช้ขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร มีค่า 51,253 นิวตัน เราสามารถหาพื้นที่สัมผัสได้ดังนี้ จากสมการที่ (3.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เอาต์เห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau_y = \frac{F}{A_s} = \frac{51,253}{A_s}$$

$$89.1365 \times 10^6 = \frac{51,253}{A_s}$$

$$A_s = 5.75 \times 10^{-4} m^2$$

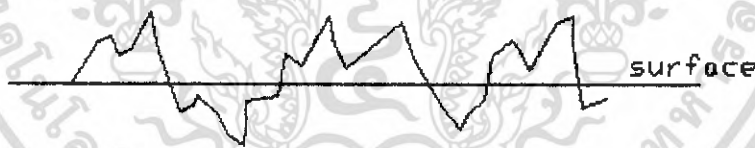
เนื่องจากแท่งอลูมิเนียมเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) 16 มิลลิเมตรจะมีพื้นที่ผิว $A_s = \pi dL$

แทนค่าพื้นที่สัมผัส (A_s) 5.75×10^{-4} ตารางเมตรลงในสมการเพื่อหาค่าความยาวที่ใช้สัมผัสอลูมิเนียม

$$5.75 \times 10^{-4} = \pi (0.016m)L$$

$$L = 0.012m$$

เพราะฉะนั้นความยาวที่ใช้จับยึดอลูมิเนียมควรมีค่า 0.012 เมตรแต่ความเป็นจริงแล้วผิวอลูมิเนียมมีลักษณะไม่ราบเรียบจะมีความขรุขระไม่สม่ำเสมอดังในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ภาพลักษณะความขรุขระพื้นผิว

โดยความขรุขระของอลูมิเนียมมีค่า ± 0.5 มิลลิเมตรเพราะฉะนั้นผิวสัมผัสที่แท้จริงจะอยู่บริเวณส่วนยอดของความขรุขระเพราะฉะนั้นเราจะเพิ่มผิวสัมผัสจากที่คำนวณแล้วคือ 1.2 มิลลิเมตรเพิ่มอีก 7 เท่าจากเดิมจะได้ความยาวที่ได้จะเป็น

$$L_{true} = 7L = 7(1.2mm) = 8.4mm$$

ความยาวที่ใช้จับยึดอลูมิเนียมมีค่า 8.4 มิลลิเมตร

2. จำลองการกดของแม่แบบด้วยระยะต่างๆกัน แรงที่ใช้ในการจับอลูมิเนียมจะต้องสามารถต้านการเคลื่อนที่ของอลูมิเนียมที่มาจากแรงยึดได้โดยแรงที่ใช้ยึดมากที่สุดมีขนาด 51,253 นิวตันซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร โดยเราจะจำลองการกดของแม่แบบด้วยระยะต่างๆกันดังนี้

1. จำลองระยะการกดที่ 0.0005 เมตรจะได้ภาพลักษณะการบีบอลูมิเนียมหลังการอัดแล้วดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ภาพลักษณะการจับอลูมิเนียม 1

จากรูปพบว่าบริเวณด้านท้ายของอลูมิเนียมจะถูกผลักถอยออกจากแม่พิมพ์เนื่องมาจากแม่พิมพ์บีบอลูมิเนียมด้วยระยะน้อยเกินไป

2. จำลองระยะการกดที่ 0.0007 เมตรจะได้ภาพลักษณะการบีบอลูมิเนียมหลังการอัดแล้วดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 ภาพลักษณะการจับอลูมิเนียม 2

จากรูปพบว่าบริเวณด้านท้ายของอลูมิเนียมจะถูกผลักถอยออกจากแม่พิมพ์เนื่องมาจากแม่พิมพ์บีบอลูมิเนียมด้วยระยะน้อยเกินไปแต่บริเวณที่อลูมิเนียมถูกขึ้นรูปจะขยายตัวได้ใกล้เคียงขนาดมากยิ่งขึ้น

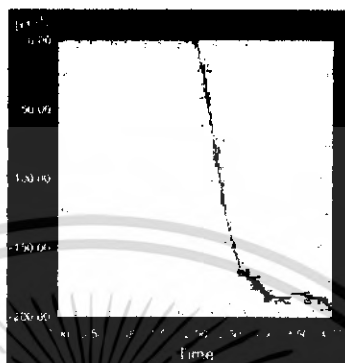
3. จำลองระยะการกดที่ 0.001 เมตรจะได้ภาพลักษณะการบีบอลูมิเนียมหลังการอัดแล้วดัง รูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ภาพลักษณะการจับอลูมิเนียม 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปพบว่าบริเวณด้านท้ายของอลูมิเนียมจะมีส่วนที่เกินออกมา อาจเพราะหลังจากการบีบจะมีเนื้ออลูมิเนียมบางส่วนล้นออกมา แต่บริเวณที่อลูมิเนียมถูกขึ้นรูปจะขยายตัวได้เต็มที่และสมบูรณ์แบบเพราะฉะนั้นเราจะเลือกกระบวนการกดอลูมิเนียมของแม่พิมพ์ที่ 0.001 เมตร โดยสามารถแสดงเป็นกราฟดังรูปที่ 3.23

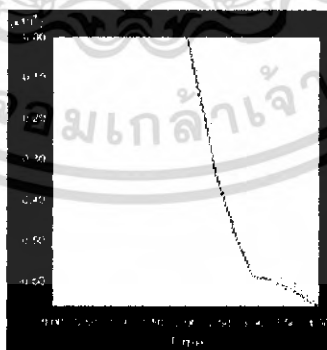


รูปที่ 3.23 กราฟแสดงค่าแรงที่ใช้บีบแกน y กับขั้นตอนการทำงานแกน x 1

จากรูปพบว่าขั้นตอนสุดท้ายเป็นขั้นตอนที่ใช้แรงบีบมากที่สุดในขณะขึ้นรูป โดยจะมีแรงบีบประมาณ 195,124 นิวตัน

3.3.4 การวิเคราะห์แรงที่ใช้จับยึดเหล็กข้ออ้อย

เราจะใช้ข้อมูลเกี่ยวกับระยะความยาวที่ใช้จับอลูมิเนียมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเหล็กข้ออ้อยและปรับกระบวนการบีบจนกระทั่งได้ระยะการบีบที่สมบูรณ์ที่ระยะ 0.0015 เมตรจะสามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์สามารถแสดงได้จากรูปที่ 2.24



รูปที่ 3.24 กราฟแสดงค่าแรงที่ใช้บีบแกน y กับขั้นตอนการทำงานแกน x 2

จากรูปพบว่าขั้นตอนสุดท้ายเป็นขั้นตอนที่ใช้แรงบีบมากที่สุดในขณะขึ้นรูป โดยจะมีแรงบีบประมาณ 660,000 นิวตัน ซึ่งจะต้องใช้แรงบีบมหาศาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์ความกันรวมของอลูมิเนียม

3.4.1 สำหรับการขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตรจะมีความกันรวมที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ภาพความกันที่เกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป 1

จากภาพบริเวณพื้นที่สีแดงจะมีความกันประมาณ 165 เมกกะปาสกาลซึ่งเป็นความกันรวมที่ใช้ในการขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร

3.4.2 สำหรับการขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตรจะมีความกันรวมที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ภาพความกันที่เกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป 2

จากภาพบริเวณพื้นที่สีแดงจะมีความกันประมาณ 165.2 เมกกะปาสกาลซึ่งเป็นความกันรวมที่ใช้ในการขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตรซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร

3.4.3 สำหรับการขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรจะมีความกันรวมที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ภาพความกันที่เกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพบริเวณพื้นที่สีแดงจะมีความเค้นประมาณ 180.3 เมกะปาสคาลซึ่งเป็นความเค้นรวมที่ใช้ในการขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร

3.5 การวิเคราะห์ความเค้นรวมของเหล็กข้ออ้อย

3.5.1 สำหรับการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตรจะมีความเค้นรวมที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 ภาพความเค้นที่เกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป 4

จากภาพบริเวณพื้นที่สีแดงจะมีความเค้นประมาณ 585 เมกะปาสคาลซึ่งเป็นความเค้นรวมที่ใช้ในการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร

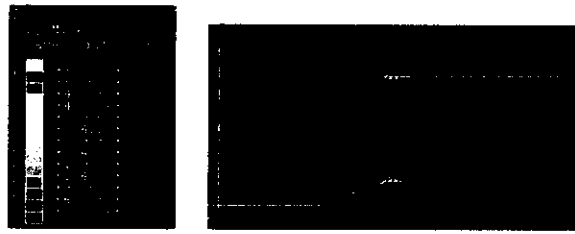
3.4.2 สำหรับการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตรจะมีความเค้นรวมที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ภาพความเค้นที่เกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป 5

จากภาพบริเวณพื้นที่สีแดงจะมีความเค้นประมาณ 585 เมกะปาสคาลซึ่งเป็นความเค้นรวมที่ใช้ในการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตรซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตร

3.4.3 สำหรับการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรจะมีความเค้นรวมที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 ภาพความเค้นที่เกิดขึ้นหลังจากขึ้นรูป 6

จากภาพบริเวณพื้นที่สีแดงจะมีความเค้นประมาณ 585 เมกะปาสคาลซึ่งเป็นความเค้นรวมที่ใช้ในการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร

3.5 การวิเคราะห์ความเครียดพลาสติกของอลูมิเนียม

3.5.1 สำหรับการขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตรจะมีความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 ภาพแสดงค่าความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้น 1

จากรูปบริเวณส่วนสีเขียวจะมีบริเวณกว้างเนื่องจากการขยายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยจะมีส่วนสีเหลืองภายในซึ่งเป็นส่วนที่เกิดขยายตัวมากที่สุดแสดงว่าการขึ้นรูปแบบนี้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

3.5.2 สำหรับการขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตรจะมีความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 ภาพแสดงค่าความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้น 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปบริเวณส่วนสีเขียวยจะมีบริเวณกว้างแต่จะมีส่วนสีเหลืองบริเวณขอบแม่พิมพ์ซึ่งเป็นส่วนที่เกิดขยายตัวมากที่สุด และบริเวณตรงกลางจะเป็นจุดที่เกิดการอัดตัวมากที่สุดจึงมีลักษณะสีแดงแสดงว่าการขึ้นรูปแบบนี้มีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ

3.5.3 สำหรับการขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรจะมีความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 ภาพแสดงค่าความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้น 3

จากรูปบริเวณส่วนสีเขียวยส่วนมุมของแม่พิมพ์อาจเพราะมีแม่พิมพ์เป็นตัวรองรับจึงไม่เกิดการขยายตัวมากเกินไปและมีส่วนสีเหลืองบริเวณพื้นที่ด้านหน้าซึ่งเป็นส่วนที่เกิดขยายตัวมากที่สุด และบริเวณตรงกลางจะเป็นจุดที่เกิดการอัดตัวมากที่สุดจึงมีลักษณะสีแดงกินเนื้อกว้างมากแสดงว่าการขึ้นรูปแบบนี้มีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ

เมื่อเปรียบเทียบแล้วกรณีแรกมีการขยายตัวของอลูมิเนียมที่มีลักษณะสม่ำเสมอการกระจายแรงจะเท่าๆกันทุกอิลิเมนต์กรณีแรกจึงเหมาะสมกับการขึ้นรูปมากที่สุดแต่เมื่อพิจารณาความแข็งแรง การขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรจะมีความแข็งแรงมากที่สุด

3.6 การวิเคราะห์ความเครียดพลาสติกของอลูมิเนียม

3.6.1 สำหรับการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตรจะมีความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.34

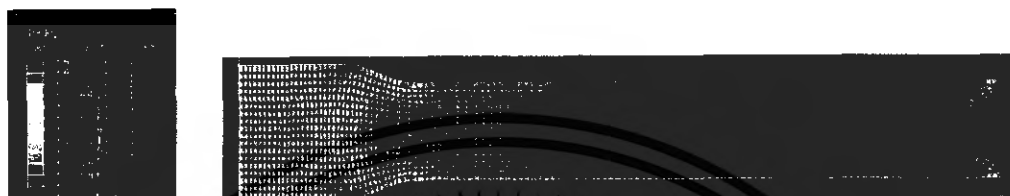


รูปที่ 3.34 ภาพแสดงค่าความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้น 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปบริเวณส่วนสี่เหลี่ยมจะมีบริเวณกว้างเนื่องจากการขยายตัวอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าการขึ้นรูปแบบนี้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยจะมีส่วนสี่ฟ้าเป็นส่วนใหญ่แสดงว่าการขึ้นรูปแบบนี้จะมีการขยายตัวน้อย

3.6.2 สำหรับการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตรจะมีความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 ภาพแสดงค่าความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้น 5

จากรูปบริเวณส่วนสี่เหลี่ยมจะมีบริเวณกว้าง และบริเวณตรงกลางจะเป็นจุดที่เกิดการอัดตัวมากที่สุด จึงมีลักษณะสี่เหลี่ยมแสดงว่าการขึ้นรูปแบบนี้มีการกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ

3.6.3 สำหรับการขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรจะมีความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 ภาพแสดงค่าความเครียดพลาสติกที่เกิดขึ้น 6

จากรูปหลังจากเหล็กข้ออ้อยได้ถูกอัดจนกระทั่งสมบูรณ์จะมีพื้นที่สีแดงตรงกลางซึ่งบ่งบอกถึงการถูกอัดตัวมากเกินไปบริเวณส่วนนี้จะเป็นส่วนที่แข็งแรงมาก

เมื่อเปรียบเทียบแล้วกรณีแรกมีการขยายตัวของเหล็กที่มีลักษณะสม่ำเสมอการกระจายแรงจะเท่ากันทุกอิลิเมนต์กรณีแรกจึงเหมาะสมกับการขึ้นรูปมากที่สุดแต่เมื่อพิจารณาความแข็งแรง การขึ้นรูปเหล็กข้ออ้อยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรจะมีความแข็งแรงมากที่สุด

บทที่ 4

การออกแบบและคำนวณ

4.1 คำนวณหาแรงที่ใช้ขึ้นรูป

พิจารณาค่าคุณสมบัติเฉพาะของอลูมิเนียมอัลลอยด์จากทฤษฎี

แรงค้ำคราก(Yield strength) 175 เมกกะปาสกาล

แรงดึงสูงสุด (Tensile strength) 350 เมกกะปาสกาล

ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรง (Strength Coefficient) 240 เมกกะปาสกาล

ค่าสเตรนฮาร์ดเคนนิง(Strain Hardening,n) 0.15

สำหรับ อลูมิเนียมขึ้นรูปให้มีขนาด 18 มิลลิเมตร

เราต้องขึ้นรูปอลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรให้มีขนาด 18 มิลลิเมตร โดยความยาว

ของอลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูปมีความยาว 33 มิลลิเมตร เริ่มต้นเราจะพิจารณาแรงที่เริ่มทำให้

อลูมิเนียมเกิดการเสียรูปตั้งสมการที่ (4.1) โดยสมมติให้ค่าความเครียด(Strain, ϵ) 0.002 และมีค่า

สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (coefficient of friction, μ) 0.1 แล้วจึงมาพิจารณาแรงสูงสุดที่ทำการอัด

$$Y_f = K \epsilon^n \quad (4.1)$$

$$Y_f = 240(0.002)^{0.15} = 94.49 \text{ MPa}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางของอลูมิเนียมยังคงมีขนาดประมาณ 16 มิลลิเมตรหาค่า K_f ได้จากสมการที่

$$(4.2) \text{ พื้นที่หน้าตัด } A = \pi(16^2/4) = 201.06 \text{ mm}^2$$

$$K_f = 1 + \frac{0.4\mu D}{h} \quad (4.2)$$

$$K_f = 1 + \frac{0.4(0.1)(16)}{33} = 1.02$$

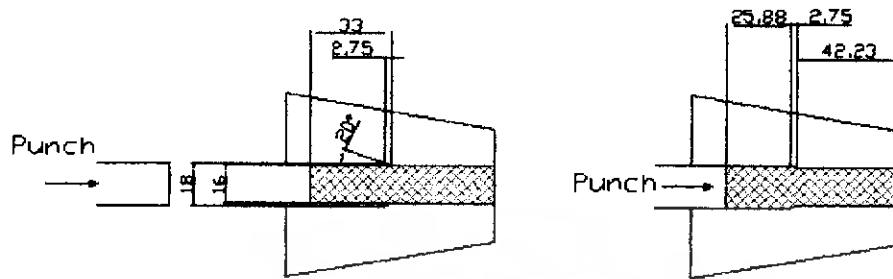
แรงอัดเริ่มต้นหาได้จากสมการที่ (4.3)

$$F = K_f Y_f A \quad (4.3)$$

$$F = 1.02(94.49)(201.06) = 19,378.31 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่าความยาวของอลูมิเนียมหลังจากขึ้นรูป จากบทที่ 3 เราจะทราบความยาวของอลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูปและมุมภายในของแม่พิมพ์มีขนาด 20 องศา ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงสำหรับ อลูมิเนียมขึ้นรูปให้มีขนาด 18 มิลลิเมตร

เนื่องจากขณะทำการขึ้นรูป อลูมิเนียม ไม่มีการสูญเสียไปจากระบบแสดงว่าปริมาตรของอลูมิเนียมทั้งก่อนและหลังการขึ้นรูปจะมีขนาดเท่ากันเสมอ ดังสมการที่ (4.4)

ปริมาตรของอลูมิเนียมก่อนขึ้นรูป = หลังขึ้นรูป

$$\frac{\pi d_1^2 L_1}{4} = \frac{\pi d_2^2 L_2}{4} + \frac{1}{3} \left(\frac{\pi (d_2^2 - d_1^2) L_3}{4} \right) \quad (4.4)$$

d_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอลูมิเนียมก่อนการขึ้นรูป ขนาด 16 มิลลิเมตร

d_2 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอลูมิเนียมหลังการขึ้นรูป ขนาด 18 มิลลิเมตร

L_1 = ความยาวของอลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูปขนาด 33 มิลลิเมตร

L_2 = ความยาวของอลูมิเนียมหลังจากขึ้นรูป

L_3 = ความยาวของอลูมิเนียมหลังจากขึ้นรูปบริเวณที่เกิดความชันขนาด 2.75 มิลลิเมตร

$$\frac{\pi \times 16^2 \times 33}{4} = \frac{\pi \times 18^2 \times L_2}{4} + \frac{1}{3} \left(\frac{\pi (18^2 - 16^2) 2.75}{4} \right)$$

$$L_2 = 25.88 \text{ mm}$$

เพราะฉะนั้นความยาวหลังจากขึ้นรูปแล้วจะมีขนาด 25.88 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อลูมิเนียมที่ขึ้นรูปจะมีความยาวทั้งหมด $L_2 + L_3 = 25.88 + 2.75 = 28.63\text{mm}$
 ขณะที่อลูมิเนียมมีความยาว 28.63 มิลลิเมตรเราทราบค่าความเครียดคั่งสมการ (4.5)

$$\epsilon = \ln\left(\frac{L_1}{L_2 + L_3}\right) \quad (4.5)$$

$$\epsilon = \ln\left(\frac{33}{28.63}\right) = 0.142$$

$$Y_f = 240(0.142)^{0.15} = 179.10\text{MPa}$$

ปริมาตรของอลูมิเนียมก่อนการอัดและหลังการอัดย่อมมีค่าเท่ากันแต่เส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มเป็น 18 มิลลิเมตรจะมีพื้นที่หน้าตัด $A = \pi(18^2/4) = 254.47\text{mm}^2$

$$K_f = 1 + \frac{0.4(0.1)(18)}{28.63} = 1.025$$

$$F = 1.025(179.10)(254.47) = 46,721.73\text{N}$$

สรุปได้ว่าขณะที่อลูมิเนียมเริ่มต้นการเสียรูปจะต้องใช้แรงอัด 19,378.31 นิวตันและเมื่ออัดจนกระทั่งอลูมิเนียมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตรจะต้องใช้แรงอัด 46,721.73 นิวตัน

สำหรับ อลูมิเนียมขึ้นรูปให้มีขนาด 19 มิลลิเมตร

เราต้องขึ้นรูปอลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรให้มีขนาด 19 มิลลิเมตร โดยความยาวของอลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูปมีความยาว 33 มิลลิเมตร เริ่มต้นเราจะพิจารณาแรงที่เริ่มทำให้อลูมิเนียมเกิดการเสียรูปโดยสมมติให้ค่าความเครียด(strain, ϵ) 0.002 และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (coefficient of friction, μ) 0.1 แล้วจึงมาพิจารณาแรงสูงสุดที่ทำการการอัด

$$Y_f = K \epsilon^n$$

$$Y_f = 240(0.002)^{0.15} = 94.49\text{MPa}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางของอลูมิเนียมยังคงมีขนาดประมาณ 16 มิลลิเมตร

$$\text{พื้นที่หน้าตัด} \quad A = \pi(16^2/4) = 201.06\text{mm}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_f = 1 + \frac{0.4\mu D}{h}$$

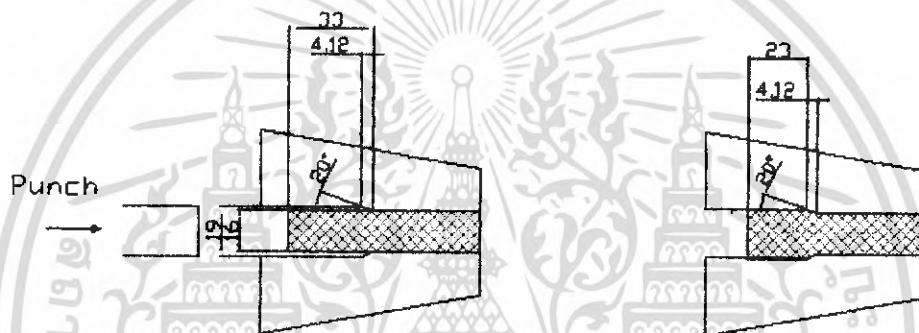
$$K_f = 1 + \frac{0.4(0.1)(16)}{33} = 1.02$$

แรงอัดเริ่มต้นคือ

$$F = K_f Y_f A$$

$$F = 1.02(94.49)(201.06) = 19,378.31 \text{ N}$$

หาค่าความยาวของอลูมิเนียมหลังจากขึ้นรูป จากบทที่ 3 เราจะทราบความยาวของอลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูปและมุมภายในของแม่พิมพ์มีขนาด 20 องศา ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงสำหรับ อลูมิเนียมขึ้นรูปให้มีขนาด 19 มิลลิเมตร

ปริมาตรของอลูมิเนียมก่อนตีขึ้น = หลังตีขึ้น

$$\frac{\pi d_1^2 L_1}{4} = \frac{\pi d_2^2 L_2}{4} + \frac{1}{3} \left(\frac{\pi (d_2^2 - d_1^2) L_3}{4} \right)$$

d_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอลูมิเนียมก่อนการขึ้นรูป ขนาด 16 มิลลิเมตร

d_2 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอลูมิเนียมหลังจากการขึ้นรูป ขนาด 19 มิลลิเมตร

L_1 = ความยาวของอลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูปขนาด 33 มิลลิเมตร

L_2 = ความยาวของอลูมิเนียมหลังจากขึ้นรูป

L_3 = ความยาวของอลูมิเนียมหลังจากขึ้นรูปบริเวณที่เกิดความชันขนาด 4.12 มิลลิเมตร

$$\frac{\pi \times 16^2 \times 33}{4} = \frac{\pi \times 19^2 \times L_2}{4} + \frac{1}{3} \left(\frac{\pi (19^2 - 16^2) 4.12}{4} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_2 = 23.00\text{mm}$$

เพราะฉะนั้นความยาวหลังจากขึ้นรูปแล้วจะมีขนาด 23.00 มิลลิเมตร

อลูมิเนียมที่ขึ้นรูปจะมีความยาวทั้งหมด $L_2 + L_3 = 23.00 + 4.12 = 27.12\text{mm}$

ขณะที่อลูมิเนียมมีความยาว 27.12 มิลลิเมตรจะมีค่าความเครียด

$$\epsilon = \ln\left(\frac{33}{27.12}\right) = 0.196$$

$$Y_f = 240(0.196)^{0.15} = 187.99\text{MPa}$$

ปริมาตรของอลูมิเนียมก่อนการอัดและหลังการอัดย่อมมีค่าเท่ากันแต่เส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มเป็น

19 มิลลิเมตรจะมีพื้นที่หน้าตัด $A = \pi(19^2/4) = 283.53\text{mm}^2$

$$K_f = 1 + \frac{0.4(0.1)(19)}{27.12} = 1.028$$

$$F = 1.028(187.99)(283.53) = 54,794.49\text{N}$$

สรุปได้ว่าขณะที่อลูมิเนียมเริ่มดำเนินการเสียรูปจะต้องใช้แรงอัด 19,378.31 นิวตันและเมื่ออัด

จนกระทั่งอลูมิเนียมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 มิลลิเมตรจะต้องใช้แรงอัด 54,794.49 นิวตัน

สำหรับ อลูมิเนียมขึ้นรูปให้มีขนาด 20 มิลลิเมตร

เราต้องขึ้นรูปอลูมิเนียมเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตรให้มีขนาด 20 มิลลิเมตร โดยความยาว

ของอลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูปมีความยาว 33 มิลลิเมตร เริ่มต้นเราจะพิจารณาแรงที่เริ่มทำให้อลูมิเนียม

เกิดการเสียรูปโดยสมมติให้ค่าความเครียด(strain, ϵ) 0.002 และมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

(coefficient of friction, μ) 0.1 แล้วจึงมาพิจารณาแรงสูงสุดที่ทำการการอัด

$$Y_f = K \epsilon^n$$

$$Y_f = 240(0.002)^{0.15} = 94.49\text{MPa}$$

เส้นผ่านศูนย์กลางของอลูมิเนียมยังคงมีขนาดประมาณ 16 มิลลิเมตร

พื้นที่หน้าตัด $A = \pi(16^2/4) = 201.06\text{mm}^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_f = 1 + \frac{0.4\mu D}{h}$$

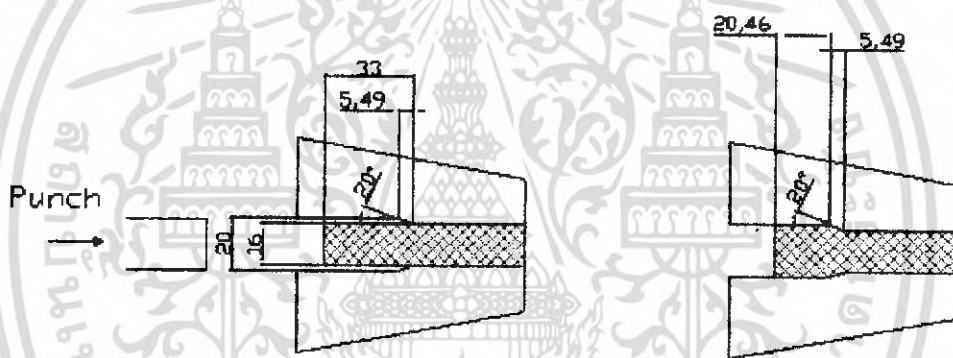
$$K_f = 1 + \frac{0.4(0.1)(16)}{33} = 1.02$$

แรงอัดเริ่มต้นคือ

$$F = K_f Y_f A$$

$$F = 1.02(94.49)(201.06) = 19,378.31N$$

หาค่าความยาวของอลูมิเนียมหลังจากขึ้นรูป จากบทที่ 3 เราจะทราบความยาวของอลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูปและมุมภายในของแม่พิมพ์มีขนาด 20 องศา ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ภาพแสดงสำหรับ อลูมิเนียมขึ้นรูปให้มีขนาด 20 มิลลิเมตร

ปริมาตรของอลูมิเนียมก่อนตีขึ้น = หลังตีขึ้น

$$\frac{\pi d_1^2 L_1}{4} = \frac{\pi d_2^2 L_2}{4} + \frac{1}{3} \left(\frac{\pi (d_2^2 - d_1^2) L_3}{4} \right)$$

d_1 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอลูมิเนียมก่อนการขึ้นรูป ขนาด 16 มิลลิเมตร

d_2 = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอลูมิเนียมหลังจากการขึ้นรูป ขนาด 20 มิลลิเมตร

L_1 = ความยาวของอลูมิเนียมที่ใช้ขึ้นรูปขนาด 33 มิลลิเมตร

L_2 = ความยาวของอลูมิเนียมหลังจากขึ้นรูป

L_3 = ความยาวของอลูมิเนียมหลังจากขึ้นรูปบริเวณที่เกิดความชันขนาด 5.49 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\pi \times 16^2 \times 33}{4} = \frac{\pi \times 20^2 \times L_2}{4} + \frac{1}{3} \left(\frac{\pi (20^2 - 16^2) 5.49}{4} \right)$$

$$L_2 = 20.46 \text{ mm}$$

เพราะฉะนั้นความยาวหลังจากขึ้นรูปแล้วจะมีขนาด 20.46 มิลลิเมตร

อลูมิเนียมที่ขึ้นรูปจะมีความยาวทั้งหมด $L_2 + L_3 = 20.46 + 5.49 = 25.95 \text{ mm}$

ขณะที่อลูมิเนียมมีความยาว 25.95 มิลลิเมตรจะมีค่าความเครียด

$$\epsilon = \ln \left(\frac{33}{25.95} \right) = 0.24$$

$$Y_f = 240(0.24)^{0.15} = 193.75 \text{ MPa}$$

ปริมาตรของอลูมิเนียมก่อนการอัดและหลังการอัดย่อมมีค่าเท่ากันแต่เส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มเป็น

20 มิลลิเมตรจะมีพื้นที่หน้าตัด $A = \pi (20^2 / 4) = 314.159 \text{ mm}^2$

$$K_f = 1 + \frac{0.4(0.1)(20)}{25.95} = 1.031$$

$$F = 1.031(193.75)(314.159) = 62,744.79 \text{ N}$$

สรุปได้ว่าขณะที่อลูมิเนียมเริ่มคืนการเสียรูปจะต้องใช้แรงอัด 19,378.31 นิวตันและเมื่ออัด

จนกระทั่งอลูมิเนียมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตรจะต้องใช้แรงอัด 62,744.79 นิวตัน

4.2 เปรียบเทียบแรงอัด

เนื่องจากแรงที่หาได้จากการคำนวณและแรงที่ได้จากการจำลองการขึ้นรูปด้วยโปรแกรมจะมีค่า ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบแรงแบบต่างๆ

	แรงทางทฤษฎี(นิวตัน)	แรงที่ได้จากการจำลอง(นิวตัน)
ขึ้นรูปขนาด 18 มิลลิเมตร	46,721.73	43,584
ขึ้นรูปขนาด 19 มิลลิเมตร	54,794.49	47,122
ขึ้นรูปขนาด 20 มิลลิเมตร	62,744.79	51,253

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

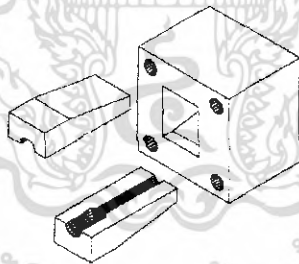
แรงที่ได้ทั้ง 2 แบบอาจมีค่าต่างกันเนื่องจากแรงทางทฤษฎีเป็นการนำค่าคงที่จาก
อลูมิเนียมอัลลอยด์โดยรวมแต่ตามหลักความเป็นจริงอลูมิเนียมอัลลอยด์ที่มีขายตามท้องตลาดจะ
แบ่งเป็นเกรดต่างๆค่าคุณสมบัติจำเพาะจะมีค่าต่างๆกันแรงที่ใช้ขึ้นรูปจะมีค่าต่างๆกันแต่เรา
กำหนดให้ใช้อลูมิเนียมเกรดเดียวกันทั้งหมด ค่าคุณสมบัติจำเพาะจะมีค่าใกล้เคียงทั้งหมดเมื่อเรา
ป้อนค่าคุณสมบัติต่างๆเหล่านี้ลงใน โปรแกรม ค่าของแรงที่ได้จากการประมวลผลนี้จะมีค่า
แน่นอนกว่าค่าทางทฤษฎีจึงสรุปได้ว่าแรงที่เราจะใช้ในการอ้างอิงจะเป็นแรงที่ได้จากการ
ประมวลผลจากโปรแกรมดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป

	แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป(นิวตัน)
ขึ้นรูปขนาด 18 มิลลิเมตร	43,584
ขึ้นรูปขนาด 19 มิลลิเมตร	47,122
ขึ้นรูปขนาด 20 มิลลิเมตร	51,253

4.3 ออกแบบฐานสวมแม่พิมพ์

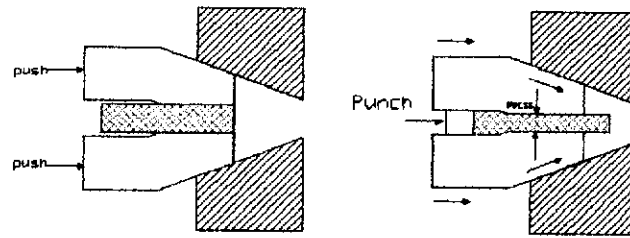
เนื่องจากวัสดุที่นำมาทำแม่พิมพ์เป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติทนทานต่อแรงที่มากระทำสูงเพราะ
ผลกระทบที่แม่พิมพ์จะได้รับความเสียหายจะไม่มีเพราะฉะนั้นเราจะพิจารณาเพียงรูปทรงทางเรขาคณิต
เพื่อหาแรงที่กระทำกับอลูมิเนียมขณะทำการอัดขึ้นรูปอลูมิเนียม โดยที่แม่พิมพ์ที่ออกแบบมีลักษณะดังรูป
ที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ภาพแม่พิมพ์และฐานสวมที่ออกแบบ

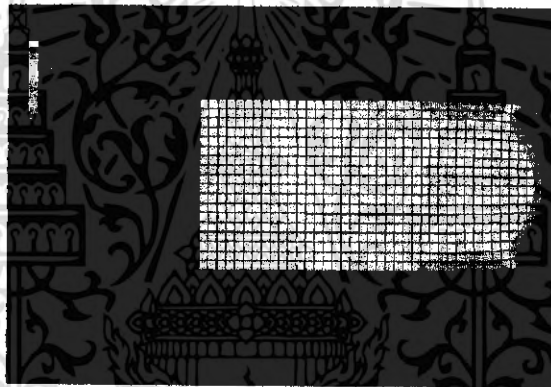
4.3.1 คำนวณหาแรงที่ใช้กับอลูมิเนียมขณะทำการอัดขึ้นรูป

เราจะใช้หลักการลื่น ซึ่งคือหลักการที่ขณะทำการอัดขึ้นรูปอลูมิเนียมไปแล้วตัวแม่พิมพ์
จะมีหน้าที่บีบอลูมิเนียม ไปเรื่อยๆ เมื่อยังอัดขึ้นรูปด้วยแรงมากเท่าไรตัวแม่พิมพ์จะยังบีบ
อลูมิเนียมมากขึ้น ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ภาพลักษณะของวิธีการจับอลูมิเนียม

เริ่มต้นเราจำเป็นต้องมีแรงกระทำกับแม่พิมพ์ก่อนเพื่อให้อลูมิเนียมเกิดการเสียรูปก่อน เราทราบแรงที่ทำการอัดอลูมิเนียมจนกระทั่งเริ่มเกิดการเสียรูปจากการคำนวณได้คือ 9,378.31 นิวตัน เพราะฉะนั้นถ้าหากเราให้แรงที่ประมาณ 20,000 นิวตันดังรูปที่ 4.6 จะสังเกตเห็นว่าอลูมิเนียมเกิดการเสียรูปบริเวณที่มีแม่พิมพ์กดทับ

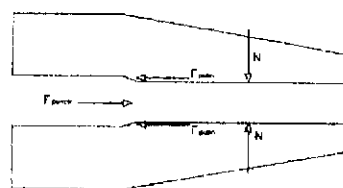


รูปที่ 4.6 ภาพแสดงอลูมิเนียมขณะเริ่มเกิดการเสียรูป

เราทราบแล้วว่าอลูมิเนียมจะเริ่มเสียรูปที่ประมาณ 20,000 นิวตัน

$$F_{punch} = 20,000 N$$

เราสามารถหาแรงต้านการเคลื่อนที่ของอลูมิเนียมดังรูปที่ 4.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแรงดันสามารถหาได้จากสมการ (4.6)

$$F_{push} = \mu N \quad (4.6)$$

เนื่องจากแม่พิมพ์ที่จับยึดเป็นแบบนำมาประกบกันทั้ง 2 ด้านเพราะฉะนั้น

$$F_{push} = \frac{F_{punch}}{2} = \mu N$$

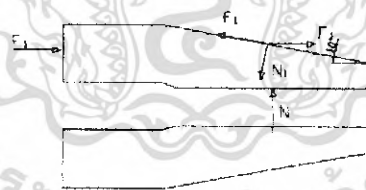
ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวอลูมิเนียมกับเหล็กที่สัมผัสมีค่าประมาณ 0.1 เราสามารถหาแรงที่ใช้กดอลูมิเนียม(N) ขณะทำการอัด ได้คือ

$$\frac{20,000}{2} = 0.1N$$

$$N = 100,000$$

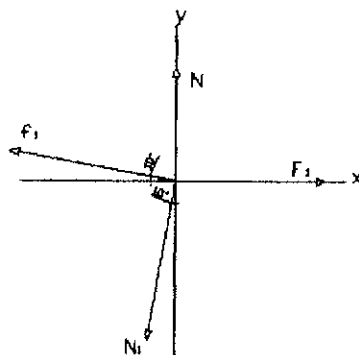
เพราะฉะนั้นแรงเริ่มต้นที่ใช้กดอลูมิเนียมเพื่อไม่ให้เคลื่อนที่คือ 100,000 นิวตัน จากบทที่ 3 เราทราบแรงที่ใช้ในการจับอลูมิเนียมสูงสุดมีขนาด 195,124 นิวตัน

4.3.2 คำนวณหาแรงเริ่มต้น(F_i) และแรงสุดท้ายที่ใช้ผลักแม่พิมพ์ ดังรูป 4.8



รูปที่ 4.8 ภาพแรงที่กระทำกับแม่พิมพ์

เราทราบจากหัวข้อ 4.3.1 แล้วว่าแรงที่ใช้กดอลูมิเนียม(N) มีขนาด 100,000 นิวตัน เพราะฉะนั้นเราจะหาแรงเริ่มต้นที่ผลักแม่พิมพ์โดยจะพิจารณาแรง 3 แรง คือแรงเริ่มต้น (F_i) แรงเสียดทาน (F_f) ระหว่างแม่พิมพ์กับแท่นสวมแม่พิมพ์และแรงปฏิกิริยา (N_i) ที่เกิดจากแท่นสวมแม่พิมพ์บีบ โดยเรากำหนดให้ความดันแม่พิมพ์มีขนาด 10 องศาและค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีค่าประมาณ 0.1 เมื่อนำทิศทางแรงมาเขียนใหม่ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ภาพแรงที่กระทำกับแม่พิมพ์ในแกน XY

พิจารณาแรงในแกน X ดังสมการที่ (4.7)

$$F_1 = f_1 (\cos 10^\circ) + N_1 (\sin 10^\circ) \quad (4.7)$$

พิจารณาแรงในแกน Y ดังสมการที่ (4.8)

$$N + f_1 (\sin 10^\circ) = N_1 (\cos 10^\circ) \quad (4.8)$$

เราทราบแล้วว่าแรงที่ใช้กดคอกูมียูนีท(N) มีขนาด 100,000 นิวตัน

$$N = 100,000$$

แรงเสียดทาน (f_1) จะมีความสัมพันธ์กับแรงปฏิกิริยา (N_1) ที่เกิดจากแท่นสวมแม่พิมพ์บีบดังสมการที่ (4.9)

$$f_1 = \mu N_1 \quad (4.9)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานมีขนาด 0.1 แทนในสมการจะได้

$$f_1 = 0.1 N_1$$

จากสมการ (4.8) แทนค่าแรงกด(N) และแรงเสียดทาน (f_1) จะได้

$$100,000 + 0.1 N_1 (\sin 10^\circ) = N_1 (\cos 10^\circ)$$

$$N_1 = 103,365.27 N$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าแรงปฏิกิริยา (N_1) ที่หาได้แทนในสมการ (4.9) จะได้

$$f_1 = 0.1(103,365.27)$$

$$f_1 = 10,336.527N$$

จากสมการ (4.7) แทนค่าแรงปฏิกิริยา(N_1) และแรงเสียดทาน(f_1) จะได้

$$F_1 = 10,336.527(\cos 10^\circ) + 103,365.27(\sin 10^\circ)$$

$$F_1 = 28,128.68N$$

เราจะทราบแรงเริ่มต้น(F_1) มีขนาด 28,128.68 นิวตันแต่จะเผื่อแรงเป็น 29,000 นิวตันเพื่อความปลอดภัยเราจะทราบสมการความสัมพันธ์ของ N และ N_1 ได้จากสมการ (4.8) ดังนี้

$$N + 0.1N_1(\sin 10^\circ) = N_1(\cos 10^\circ)$$

$$N = 0.967N_1 \quad (4.10)$$

เราทราบว่าแรงที่กดลูนีนิยมสูงสุดมีขนาด 195,124 นิวตันแทนค่าในสมการที่ (4.10)

$$195,124 = 0.967N_{1\max}$$

$$N_{1\max} = 201,783$$

เราจะทราบแรงปฏิกิริยาสูงสุดมีขนาด 201,783 นิวตัน

จากสมการที่ (4.7) จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงเริ่มต้น(F_1) กับ แรงปฏิกิริยา(N_1) ดังสมการที่ (4.11)

$$F_1 = (0.1N_1 \cos 10^\circ) + (N_1 \sin 10^\circ)$$

$$N_1 = 3.677F_1 \quad (4.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การวิเคราะห์แรงในการจับอลูมิเนียม

โดยแรงทราบแรงเริ่มต้นการอัดแม่พิมพ์มีขนาด 29,000 นิวตันและแรงปฏิกิริยาสูงสุดมีขนาด 201,783 นิวตัน ซึ่งเป็นแรงที่สามารถจับอลูมิเนียมในการขึ้นรูปได้ เราได้ทำการวิเคราะห์แรงเป็นขั้นตอนดังนี้

1. หาแรงเริ่มต้น(F_1) การอัดแม่พิมพ์ 29,000 นิวตัน
2. หาแรงปฏิกิริยาที่แม่พิมพ์กระทำฐานสวม(N_1) $N_1 = 3.677F_1$
3. หาแรงปฏิกิริยาที่แม่พิมพ์กระทำอลูมิเนียม (N) $N = 0.967N_1$
4. หาแรงเสียดทานที่ผิวอลูมิเนียม $f = \mu N = 0.1N$

แรงแต่ละขั้นตอนจะได้ค่าดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงแรงที่กระทำแต่ละขั้นตอน แรงเริ่มต้น 29,000 นิวตัน

แรงที่ออลูมิเนียม	แรงปฏิกิริยา N_1	แรงปฏิกิริยา N	แรงเสียดทาน	แรงผลึกแม่พิมพ์
0	106,633	103,115	10,311.5	29,000
10,311.5	144,548	139,778	13,978	39,311.5
13,978	158,030	152,815	15,282	42,978

จากตารางเราสามารถอธิบายได้ว่า

แถวที่ 1 ให้แรงเริ่มต้นผลึกแม่พิมพ์ 29,000 จะเกิด แรงปฏิกิริยา(N_1) 106,633 นิวตันแรงปฏิกิริยา(N) 103,115 นิวตันแรงเสียดทาน 10,311.5 จากสมการความสัมพันธ์ด้านบน

แถวที่ 2 เราทราบแรงเสียดทานจากแถวที่ 1 แสดงว่าแม่พิมพ์สามารถรับแรงได้ 10,311.5 นิวตันเมื่อนำไปรวมกับแรงเริ่มต้น 29,000 นิวตัน จะได้แรงที่ผลึก แม่พิมพ์ $10,311.5 + 29,000 = 39,311.5$ นิวตัน จะได้แรงเสียดทาน 13,978 นิวตันแรงปฏิกิริยา(N) 139,778 นิวตัน

แถวที่ 3 แรงเสียดทาน 13,978 นิวตันจากแถวที่ 2 แสดงว่าแม่พิมพ์สามารถรับแรงอัดจากออลูมิเนียมได้ 13,978 นิวตันเมื่อนำไปรวมกับแรงเริ่มต้น 29,000 นิวตัน จะได้แรงที่ผลึกแม่พิมพ์ $13,978 + 29,000 = 42,978$ นิวตัน จะได้แรงเสียดทาน 15,282 นิวตันแรงปฏิกิริยา(N) 152,815 นิวตัน

เราจะทำการคำนวณแบบนี้ไปเรื่อยๆจนกว่า ค่าแรงปฏิกิริยา(N) จะมีค่าเท่ากับแรงที่กดออลูมิเนียมสูงสุดมีขนาด 195,124 นิวตัน แต่จากการสมมติค่าเริ่มต้นเป็น 29,000 นิวตันจะพบว่าค่าแรงปฏิกิริยา(N)จะมีค่าน้อยกว่าแรงที่ใช้กดออลูมิเนียมสูงสุดขนาด 195,124 นิวตัน ได้จึงสมมติค่าเริ่มต้นใหม่เป็น 35,000 นิวตันแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงแรงที่กระทำแต่ละขั้นตอน แรงเริ่มต้น 35,000 นิวตัน

แรงที่อัดคอกูมิเนียม	แรงปฏิกิริยา N_1	แรงปฏิกิริยา N	แรงเสียดทาน	แรงผลักแม่พิมพ์
0	128,345	124,410	12,441	35,000
12,441	173,966	168,225	16,823	47,441
16,823	190,035	183,764	18,376	51,823
18,376	195,730	189,271	18,927	53,376
18,927	197,750	191,225	19,123	53,927
19,123	198,469	191,920	19,192	54,123
19,192	198,722	192,164	19,216	54,192

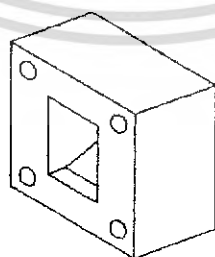
จากตารางที่ 4.4 ค่าแรงปฏิกิริยา(N) จะมีค่าน้อยกว่าแรงที่ใช้คอกูมิเนียมสูงสุด 195,124 นิวตัน แสดงว่าเราสมมติค่าแรงเริ่มต้นน้อยเกินไป สมมติค่าเริ่มต้นเป็น 40,000 นิวตันจะได้ค่าดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงแรงที่กระทำแต่ละขั้นตอน แรงเริ่มต้น 40,000 นิวตัน

แรงที่อัดคอกูมิเนียม	แรงปฏิกิริยา N_1	แรงปฏิกิริยา N	แรงเสียดทาน	แรงผลักแม่พิมพ์
0	146,680	141,840	14,184	40,000
14,184	198,693	192,136	19,214	54,184
19,214	217,138	209,972	20,997	59,214

จากตารางที่ 4.4 เมื่อเราสมมติค่าเริ่มต้นที่ 40,000 นิวตันจะให้แรงปฏิกิริยา(N) ที่มีค่ามากกว่าแรงที่ใช้คอกูมิเนียมสูงสุด 195,124 นิวตันแสดงว่าแรงเริ่มต้นที่ใช้ผลักแม่พิมพ์เข้าฐานสวมจะมีค่า 40,000 นิวตัน

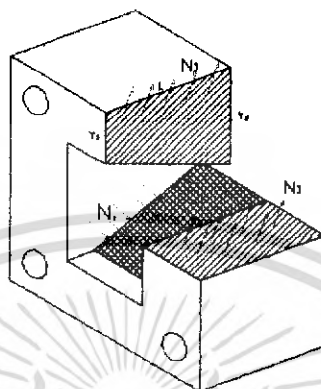
4.3.4 ฐานสวมแม่พิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบมีลักษณะดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ภาพฐานสวมแม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

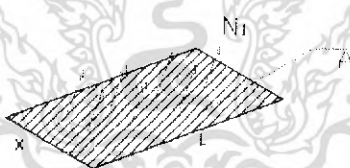
เราต้องการฐานสุมที่สามารถสวมแม่พิมพ์ได้พอดี แต่ตามร้านค้าทั่วไปจะมีเหล็กแผ่นมีหนาสูงสุดที่ 40 มิลลิเมตร โดยเราไม่ต้องการให้ฐานสุมมีความหนาเกินไปแต่จะเพิ่มขนาดความสูงและกว้างแทน โดยกำหนดให้ใช้เหล็กแผ่น 2 ชั้นประกบกันจะมีความหนาทั้งสิ้น 80 มิลลิเมตร เมื่อขณะทำการขึ้นรูปอลูมิเนียมจะมีแรงกระทำกับฐานสุมดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ภาพแรงที่แม่พิมพ์กระทำฐานสุมแม่พิมพ์

จากรูปเมื่อพิจารณาพื้นที่ที่ถูกตัดออกจะมีแรงกระทำกับพื้นที่หน้าตัดเป็นแรงที่เกิดจากแม่พิมพ์กระทำกับฐานสุมซึ่งคือแรงปฏิกิริยา (N_1) นั่นเอง
คำนวณหาความขนาดและความเค้นที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่หน้าตัด

1. ความเค้นที่ตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ภาพทิศทางแรงที่กระทำพื้นที่

สมการความเค้น

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

เนื่องจากแรงปฏิกิริยาสูงสุดกระทำตามแนวตั้งฉากกับความชันของแม่พิมพ์จะพิจารณาดังนี้

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{1\max} \cos 10^\circ}{A}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{264,889 \cos 10^\circ}{XL}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กมีค่าความเค้นครากที่ 250 เมกกะปาสกาล ค่าความปลอดภัย (safety factor) มีค่า 3 และมีความหนา(L) คงที่ที่ 80 มิลลิเมตรเราจะทราบความกว้าง(X) ดังนี้

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma_y}{S.F.} = \frac{250 \times 10^6}{3}$$

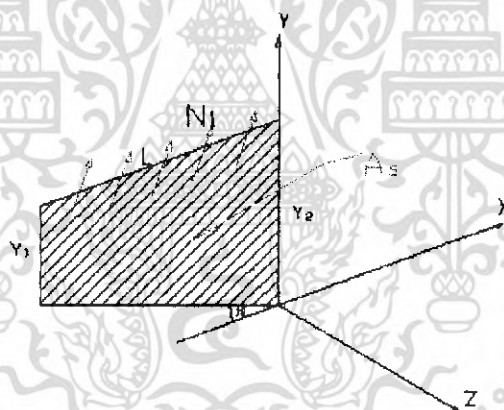
$$\sigma_{\max} = 83.33 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$83.33 \times 10^6 = \frac{264,889 \cos 10^\circ}{X(0.08)}$$

$$X = 0.04 \text{ m}$$

เราจะพิจารณาเฉพาะแรงที่กระทำพื้นผิวตามแนวตั้งฉากเนื่องจากจะเกิดความเค้นที่ทำให้เกิดความเสียหายมากที่สุด

2. ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ภาพทิศทางแรงที่ทำให้เกิดความเค้น

จากรูปพื้นที่หน้าตัด(A_s) สามารถหาได้จากสมการ (4.12)

$$A_s = \frac{1}{2} [L(Y_1 + Y_2)] \quad (4.12)$$

โดยที่

$$\tan 10^\circ = \frac{Y_2 - Y_1}{L} = 0.176$$

แทนค่าความหนา(L) 80 มิลลิเมตร จะได้

$$\frac{Y_2 - Y_1}{0.08} = 0.176$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่สามารถหาค่า Y_2 ได้จากสมการ (4.13)

$$Y_2 = 0.01408 + Y_1 \quad (4.13)$$

แทนค่า Y_2 ในสมการพื้นที่หน้าตัด (A_s) จะได้สมการ (4.14)

$$A_s = \frac{1}{2} [0.08(0.01408 + Y_1 + Y_1)] \quad (4.14)$$

สมการความเค้นเฉือน

$$\tau = \frac{F}{A_s}$$

โดยที่ความเค้นเฉือนมีความสัมพันธ์กับความเค้นดึงจากดังสมการที่ (4.15)

$$\tau = 0.5\sigma \quad (4.15)$$

เราทราบความเค้นครากของวัสดุคือ 250 เมกะปาสกาลเพราะฉะนั้นจะมีความเค้นเฉือนดังนี้

$$\tau_y = 0.5(250 \times 10^6) = 125 \times 10^6 \text{ Pa}$$

แรงที่กระทำเป็นแรงปฏิกิริยาจากแม่พิมพ์เราจะใช้ค่าสูงสุด ($N_{1\max}$) ให้ค่าความปลอดภัย 1.5

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_y}{1.5} = \frac{125 \times 10^6}{1.5} = 83.33 \times 10^6$$

$$\tau_{\max} = \frac{N_{1\max} \cos 10^\circ}{A_s}$$

$$83.33 \times 10^6 = \frac{264,889 \cos 10^\circ}{\frac{1}{2} [0.08(0.01408 + Y_1 + Y_1)]}$$

$$Y_1 = 0.032 \text{ m}$$

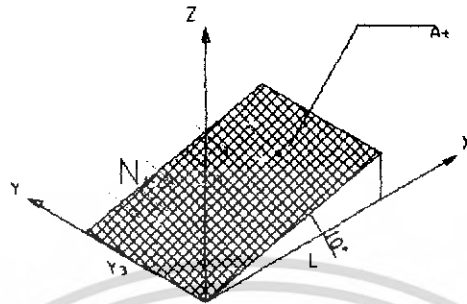
แทนค่า Y_1 ในสมการ (4.13) จะได้

$$Y_2 = 0.01408 + Y_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_2 = 0.04617m$$

3. คำนวณหาความเค้นตั้งฉากที่ผิวสัมผัสแม่พิมพ์ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ภาพทิศทางแรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิว

จากรูปจะ ได้ความเค้นที่เกิดขึ้นดังสมการที่ (4.16)

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{1\max}}{A_t} \quad (4.16)$$

กำหนดค่าความปลอดภัย 4 วัสดุมีความเค้นคราก 250 เมกะปาสคาล

$$\sigma_{\max} = \frac{250 \times 10^6}{4} = 62.5 \times 10^6 \text{ Pa}$$

คำนวณหาพื้นที่สัมผัสดังสมการที่ (4.17)

$$A_t = Y_3 \frac{L}{\cos 10^\circ} = Y_3 \left(\frac{0.08}{\cos 10^\circ} \right) = 0.081 Y_3 \quad (4.17)$$

จากสมการที่ (4.15) แทนค่าพื้นที่สัมผัสในสมการความเค้นจะได้

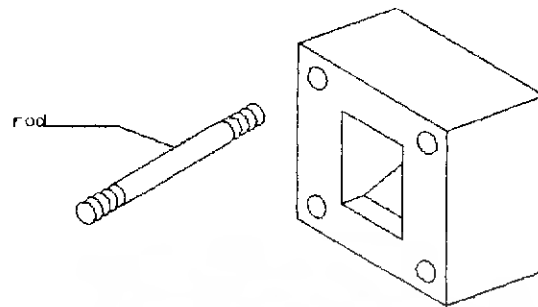
$$62.5 \times 10^6 = \frac{264,889}{0.081 Y_3}$$

$$Y_3 = 0.06m$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การคำนวณและออกแบบก้านค้ำยัน (rod)

เนื่องจากฐานสวมแม่พิมพ์จำเป็นต้องมีก้านค้ำยันเพื่อเชื่อมต่อกับกระบอบกึ่งรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ภาพก้านค้ำยันที่ออกแบบ

จากรูปก้านค้ำยันจะยึดติดกับฐานแม่พิมพ์ด้วยสลักเกลียวเราจะคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของก้านค้ำยันและรูปแบบของเกลียวที่ใช้ดังนี้

1. คำนวณแรงที่กระทำก้านค้ำยัน จากการคำนวณแรงที่ใช้อัดลูมิเนียมสูงสุดมีขนาด 51,253 นิวตันก้านค้ำยันที่ใช้มี 4 ชิ้นแต่ละชิ้นจะรับแรงได้ดังนี้

$$F_{rod} = \frac{F_{punch}}{4} = \frac{51,253}{4} = 12,813.25N$$

2. คำนวณหาขนาดเกลียว ก้านค้ำยันที่ใช้เป็นเหล็กเพลามีความเค้นคราก 250 เมกกะปาสกาล กำหนดให้ค่าความปลอดภัย 3.7 จะได้ความเค้นดังนี้

$$\sigma_{td} = \frac{250}{S.F.} = \frac{250}{3.7} = 67.57MPa$$

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเกลียวได้ดังสมการที่ (4.18)

$$\sigma_{td} = \frac{F_{rod}}{A_d} \quad (4.18)$$

$$67.57 = \frac{12,813.25}{A_d}$$

$$A_d = 189.64mm^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางเกลียวเมตริกมาตรฐานระหว่างประเทศ เราจะใช้เกลียวขนาด M20 ที่มีพื้นที่หน้าตัด 192.00 ตาราง มิลลิเมตร จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ช่องที่ 1 ขนาด 20 มิลลิเมตร ช่องที่ 2 ขนาด 18 มิลลิเมตร ระยะพิทช์ 2.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อย (d_1) 14.933 มิลลิเมตร

3. คำนวณความยาวเกลียวส่วนที่ยึดได้คังสมการที่ (4.19)

$$\pi d_1 l \tau = F_{rod} \quad (4.19)$$

$$\tau = 0.5 \sigma_{td} = 0.5 \times 67.57 = 33.785 \text{ MPa}$$

แทนค่าความเค้นเฉือน

$$\pi \times 14.933 \times l \times 33.785 = 12,813.25$$

$$l = 8.08 \text{ mm}$$

เราจะหาความยาวเกลียวในชิ้นงานจากตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความยาวของเกลียวในชิ้นงาน

วัสดุชิ้นงาน	ความยาวเกลียวในชิ้นงาน l_e ตามคุณสมบัติของวัสดุสลักเกลียว			
	3.6 – 4.6	4.8 – 6.9	8.8	10.9
เหล็กกล้าความเค้นสูงสุดเป็น เมกกะ				
ปาสคาล				
น้อยกว่า 400	0.8d	1.2d	-	-
400 - 600	0.8d	1.0d	1.2d	-
600 - 800	0.8d	1.0d	1.2d	1.2d
มากกว่า 800	0.8d	1.0d	1.0d	1.0d
เหล็กหล่อ	1.3d	1.5d	1.5d	-

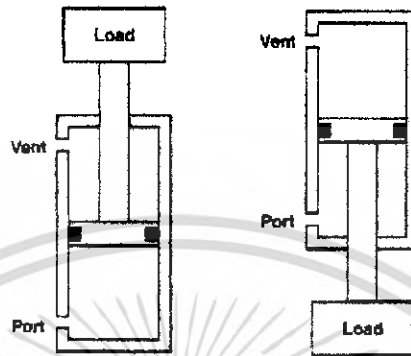
วัสดุที่นำมาทำเกลียวมีความเค้นสูงสุดคือ 400 เมกกะปาสคาล

จากตารางที่ 3.3 ความยาวเกลียวในชิ้นงานไม่ควรน้อยกว่า $1.2d = 1.2 \times 20 = 24 \text{ mm}$

เพราะฉะนั้นให้เลือกความยาวเกลียว 24 มิลลิเมตร

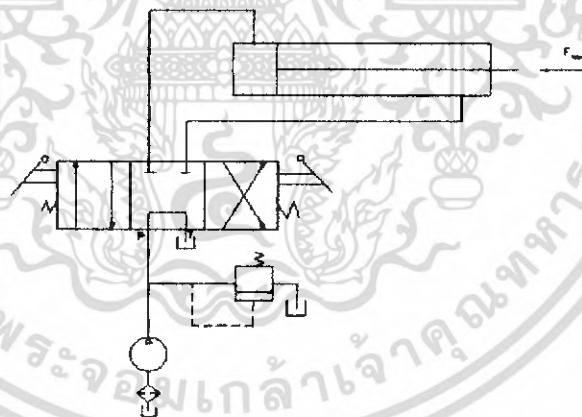
4.5 การคำนวณหาความดันที่เกิดขึ้นในระบบ

เนื่องจากกระบอกสูบที่ใช้เป็นแบบกระบอกสูบสองทาง(Double acting cylinder) ก้านสูบจะเลื่อนผลักดันชิ้นงานโดยใช้แรงดันจากน้ำมัน จึงหาว่าตัวควบคุมทิศทางโดยความดันจากน้ำมันจะไหลกลับทิศทางกระบอกสูบจะเลื่อนกลับ ดังรูป 4.16



รูปที่ 4.16 ภาพกระบอกสูบสองทาง

วงจรควบคุมกระบอกสูบชนิดสองทิศทาง เป็นการควบคุมกระบอกสูบให้เคลื่อนที่ได้สองทิศทางโดยทำหน้าที่ชักเข้าและออกของกระบอกสูบดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 ภาพวงจรควบคุมกระบอกสูบชนิดสองทิศทาง

โดยเรากำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 65 มิลลิเมตรและแรงที่ก้านสูบจะใช้แรงอัดอลูมิเนียมที่มากที่สุดขนาด 51,253 นิวตันจะสามารถคำนวณหาความดันได้ดังสมการที่ (4.20)

$$\text{แรงที่ก้านสูบ (F)} = \text{ความดัน (P)} \times \text{พื้นที่ภาคตัด (A)}$$

$$F_{push} = P \times \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \quad (4.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$51,253 = P \left(\frac{\pi \times 0.065^2}{4} \right)$$

$$P = 15.45 \times 10^6 \text{ Pa}$$

เพราะฉะนั้นเราจะใช้ ปีมี่ที่สามารถรับแรงดันได้ไม่น้อยกว่า 15.45 เมกกะปาสคาล
เราทราบแล้วว่าแรงที่ใช้อัดอลูมิเนียมมีขนาด 43,584 , 47,122 , 51,253 นิวตันเพื่อขึ้นรูปขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลาง 18,19,20 มิลลิเมตร ตามลำดับเราจะทราบขนาดแรงดันแต่ละขนาดดังนี้

จากสมการที่ 3.20

$$F_{\text{punch}} = P \times \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)$$

สำหรับแรง 43,584 นิวตัน

$$43,584 = P \times \left(\frac{\pi \times 0.065^2}{4} \right)$$

$$P_{18\text{mm}} = 13.13 \text{ MPa}$$

สำหรับแรง 47,122 นิวตัน

$$47,122 = P \times \left(\frac{\pi \times 0.065^2}{4} \right)$$

$$P_{19\text{mm}} = 14.20 \text{ MPa}$$

สำหรับแรง 51,253 นิวตัน

$$51,253 = P \times \left(\frac{\pi \times 0.065^2}{4} \right)$$

$$P_{20\text{mm}} = 15.45 \text{ MPa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิธีการทดลองและการทดสอบ

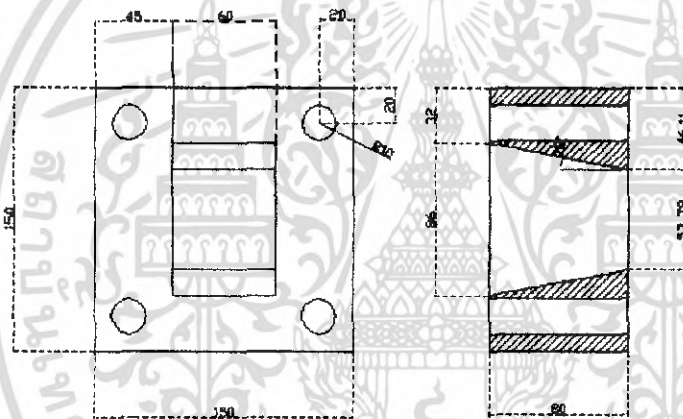
5.1 อุปกรณ์การทดลอง

5.1.1 แท่งอลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ภาพอลูมิเนียมขนาด 16 มิลลิเมตร

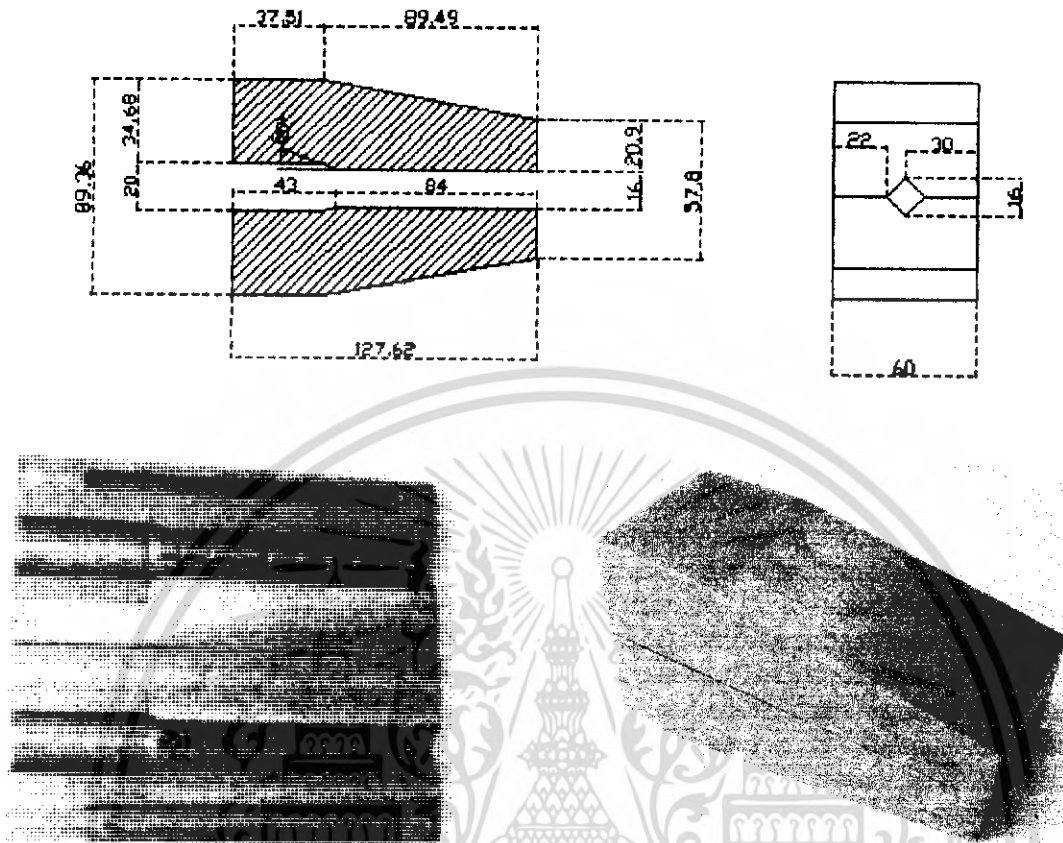
5.1.2 ฐานสวมแม่พิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบ ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ภาพฐานสวมแม่พิมพ์ที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 แม่พิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบทำมาจากเหล็กหัวแดง ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แม่พิมพ์ที่ได้ทำการออกแบบ

5.1.4 ก้านค้ำยันที่ได้ทำการออกแบบ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 5.4 ภาพก้านค้ำยันที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5 เหล็กตีขึ้นรูป (Punch) ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ภาพเหล็กตีขึ้นรูป

5.1.6 กระบอกลูกสูบไฮดรอลิกแบบสองทิศทาง ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ภาพกระบอกลูกสูบสองทาง

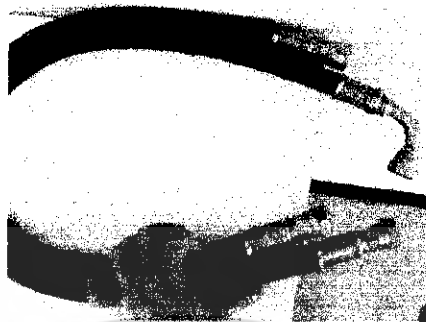
5.1.7 วาล์วควบคุมทิศทางแบบ 4/2 ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ภาพวาล์วควบคุม

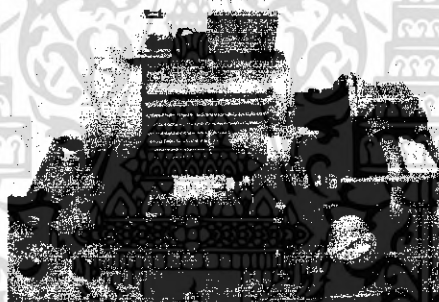
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.8 สายน้ำมันไฮดรอลิก ดังรูปที่ 5.8



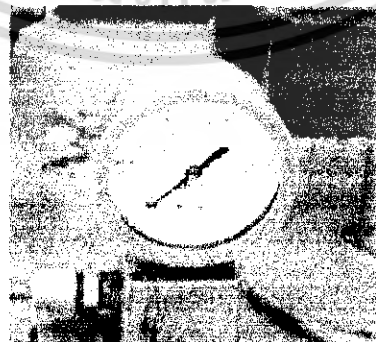
รูปที่ 5.8 ภาพสายน้ำมันไฮดรอลิก

5.1.9 ป้อนน้ำมันความดันสูงสุดที่ 300 psi ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 ภาพมอเตอร์และปั้มน้ำมันไฮดรอลิก

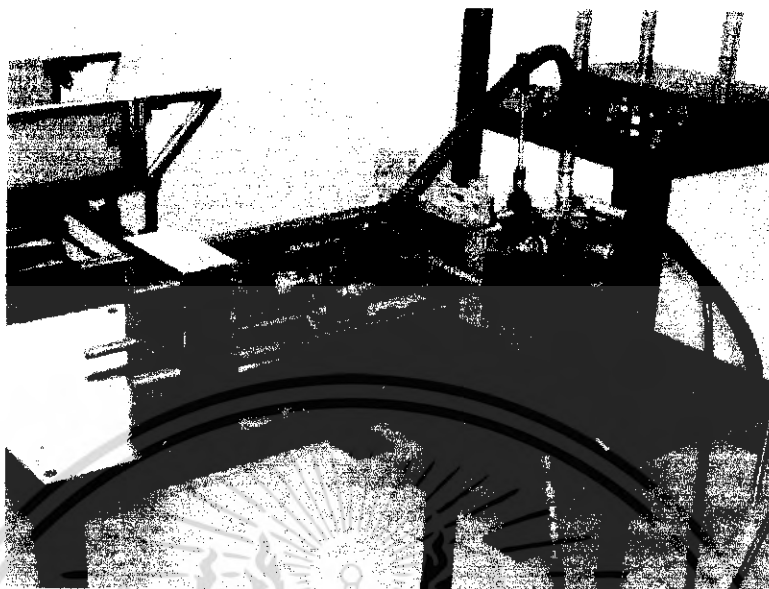
5.1.10 เกจวัดความดันน้ำมัน ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 ภาพเกจวัดความดันน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.10 เครื่องอัดชิ้นรูปอลูมิเนียม ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 ภาพตัวเครื่องอัดชิ้นรูปอลูมิเนียม

5.2 วิธีการทดลอง

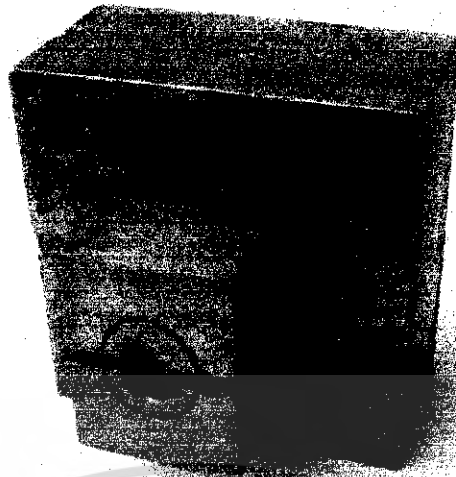
1. เริ่มต้นจะทำการจับยึ้อลูมิเนียม โดยนำอลูมิเนียมวางลงบนแม่พิมพ์ดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 ภาพการติดตั้งอลูมิเนียมเข้ากับแม่พิมพ์

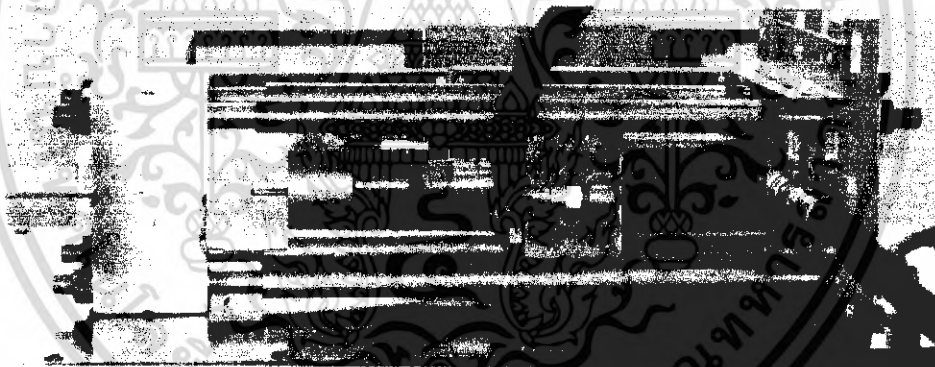
นำแม่พิมพ์อีกตัวประกบกันแล้วสวมในฐานสวมแม่พิมพ์ดังรูปที่ 5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ภาพการประกอบแม่พิมพ์เข้ากับฐานสวม

ใส่แรงกระทำแม่พิมพ์โดยให้แรงเริ่มต้นมีขนาด 40,000 นิวตันดังรูปที่ 5.14 โดยที่แรงเริ่มต้น
 อุดมเนียมจะเกิดการเสียรูปจากการบีบของแม่พิมพ์ดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.14 ภาพแสดงการผลัดแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



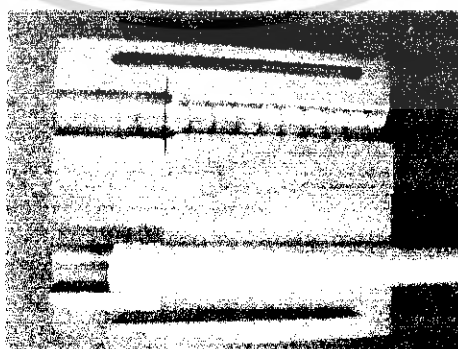
รูปที่ 5.15 ภาพของอลูมิเนียมหลังจากการให้ความร้อนเริ่มต้นกับแม่พิมพ์

2. ทำการอัดขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาดต่างๆ โดยแรงจากเหล็กตีขึ้นรูป (Punch) ดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 ภาพแสดงการอัดขึ้นรูปอลูมิเนียม

หลังจากทำการอัดขึ้นรูป อลูมิเนียมจะมีลักษณะดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 ภาพแสดงอลูมิเนียมหลังการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากใช้ปั๊มไฮดรอลิกขับน้ำมันเพื่อส่งกำลังให้กระบอกสูบเราจะทราบแรงดันที่เกิดขึ้น ในระบบจากเกจวัดน้ำมันจากการคำนวณเราจะแรงขนาดต่างๆเพื่อขึ้นรูปดังนี้

ขึ้นรูปขนาด 18 มิลลิเมตรจะใช้แรงดันที่ 13.13 เมกกะปาสคาล, 1,903.85 psi

ขึ้นรูปขนาด 19 มิลลิเมตรจะใช้แรงดันที่ 14.20 เมกกะปาสคาล, 2,059.00 psi

ขึ้นรูปขนาด 20 มิลลิเมตรจะใช้แรงดันที่ 15.45 เมกกะปาสคาล, 2,240.25 psi

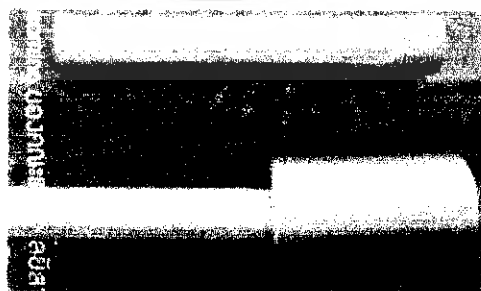
3. นำอลูมิเนียมที่ขึ้นรูปแล้วดังรูปที่ 5.17 และอลูมิเนียมที่ไม่ได้ทำการขึ้นรูปมาทำการกลึงเกลียว เพื่อนำมาเชื่อมต่อกับเกลียวตัวเมียที่เตรียมไว้แล้วดังรูปที่ 5.18 เพื่อนำไปทดสอบค่าแรงดึง โดยที่การกลึงเกลียวของอลูมิเนียมที่ขึ้นรูปแล้วแต่ละขนาดจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ต่างกันระยะพิตช์จะมีค่าต่างกันเราจะใช้ค่ามาตรฐานเกลียวที่มีตามท้องตลาดเพื่อความ สะดวกต่อการเชื่อมต่อ สำหรับ อลูมิเนียมขนาด 16,18,20 มิลลิเมตรจะมีระยะพิตช์ที่ 1.5 ส่วนอลูมิเนียมขนาด 19 มิลลิเมตรจะใช้หน่วยหุนดังนั้นจะมีระยะพิตช์ที่ 10G



ก



ข



ค

รูปที่ 5.18 ภาพอลูมิเนียมที่ทำการกลึงเกลียวและสวมเข้ากับเกลียวตัวเมีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้. สำหรับอลูมิเนียมขนาด 18 มิลลิเมตร ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. สำหรับอลูมิเนียมขนาด 19 มิลลิเมตร

ค. สำหรับอลูมิเนียมขนาด 20 มิลลิเมตร

5.3 วิธีการทดสอบ

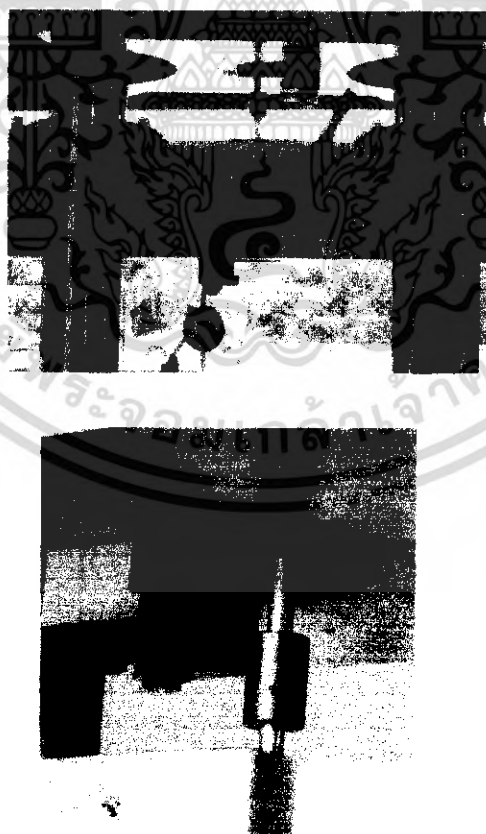
จุดประสงค์ของ โครงการนี้เพื่อต้องการเพื่อประสิทธิภาพของอลูมิเนียมหลังจากการอัดขึ้นรูปแล้วแสดงว่าบริเวณที่อลูมิเนียมถูกขึ้นรูปแล้วจะมีความแข็งแรง คงทนมากกว่าบริเวณส่วนที่ไม่ได้ขึ้นรูปวิธีที่สามารถพิสูจน์หลักการนี้ได้คือการทดสอบการดึงของอลูมิเนียม โดยตามทฤษฎีแล้วบริเวณที่อลูมิเนียมจะเกิดความเสียหายมากที่สุดจะเป็นบริเวณส่วนที่ไม่ขึ้นรูปโดยจะมีวิธีการทดสอบดังนี้

5.3.1 นำอลูมิเนียมที่มีขนาดต่างๆมาเชื่อมต่อกันด้วยสลักเกลียวหัวเมียดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 ภาพการเชื่อมต่อของอลูมิเนียม

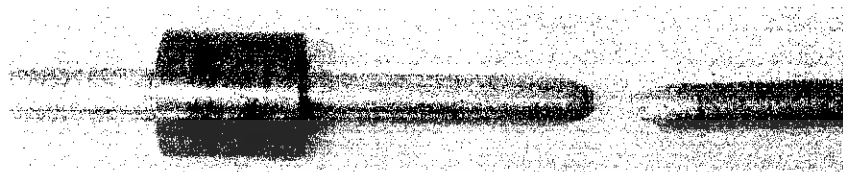
5.3.2 นำอลูมิเนียมที่เชื่อมต่อแล้วมาทดสอบการดึงด้วยเครื่อง UTM ดังรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 ภาพเครื่องทดสอบการดึง UTM ขณะทำการดึงอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 เราระบบที่ค่าแรงที่ระยะทุกๆ 2 มิลลิเมตรจนกระทั่งอุณหภูมิเริ่มเกิดการเสียหายมาก
 ชุด ดังรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.21 ภาพแสดงลักษณะการเสียหายจากการดึง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

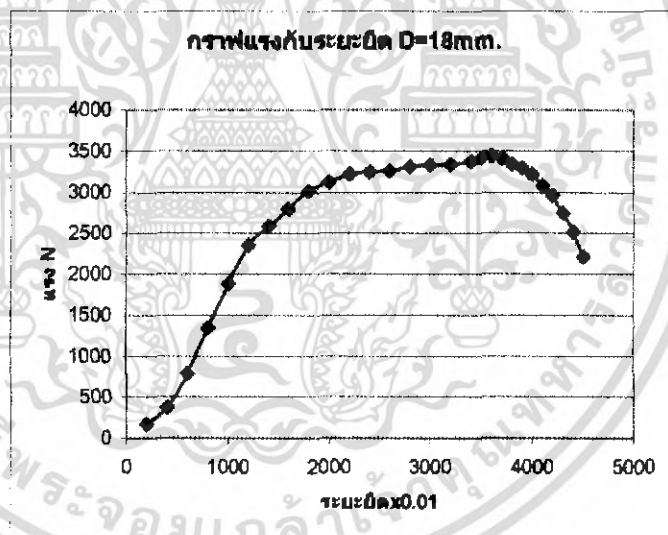
ผลการทดสอบ

เราได้ทำการบันทึกค่าแรงที่กระทำขณะทำการดึงอูมิเนียมทุกๆ 2 มิลลิเมตร (ΔL) จะได้อ่านค่าที่ได้จะมีขนาดต่างๆตามแต่ละขนาดของอูมิเนียมดังนี้

6.1 สำหรับอูมิเนียมขนาด 18 มิลลิเมตร ทำการบันทึกค่าแรงดึงทุกๆ 2 มิลลิเมตร จะได้ดังตารางที่

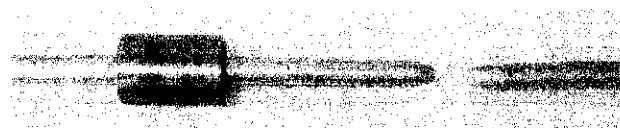
6.1 เราสามารถนำค่าที่ได้จากการบันทึกสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 6.1
ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงค่าระหว่างแรงดึงและระยะยืด

ระยะยืด	จุดที่	แรง
200	1	169.5
400	2	376
600	3	786
800	4	1341
1000	5	1879
1200	6	2356
1400	7	2589
1600	8	2799
1800	9	3015
2000	10	3125
2200	11	3217
2400	12	3245
2600	13	3265
2800	14	3316
3000	15	3339
3200	16	3345
3400	17	3378
3500	18	3425
3600	19	3450
3700	20	3417
3800	21	3342
900	22	3296
4000	23	3216
4100	24	3078
4200	25	2956
4300	26	2745
4400	27	2519
500	28	2213



รูปที่ 6.1 ภาพกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดกับแรงดึง 1

เมื่อทดสอบสอบการดึงจนกระทั่งเกิดการเสียหายมากที่สุดดังรูปที่ 6.2

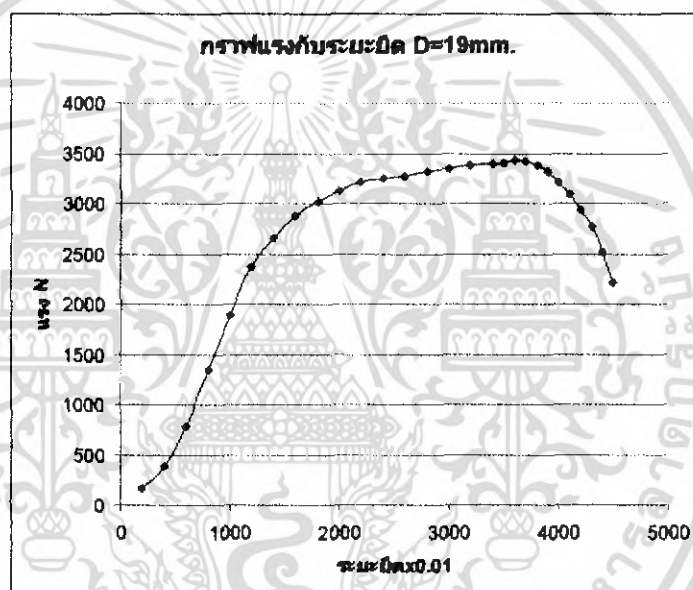


รูปที่ 6.2 ภาพแสดงบริเวณที่เกิดการเสียหายมากที่สุด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 สำหรับอลูมิเนียมขนาด 19 มิลลิเมตร ทำการบันทึกค่าแรงดึงทุกๆ 2 มิลลิเมตร จะได้ตารางที่ 6.2 เราสามารถนำค่าที่ได้จากการบันทึกสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 5.3 ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงค่าระหว่างแรงดึงและระยะยืด

ระยะยืด	จุดที่	แรง
200	1	171
400	2	387
600	3	788
800	4	1345
1000	5	1890
1200	6	2369
1400	7	2659
1600	8	2875
1800	9	3025
2000	10	3133
2200	11	3220
2400	12	3254
2600	13	3279
2800	14	3320
3000	15	3355
3200	16	3387
3400	17	3402
3500	18	3415
3600	19	3435
3700	20	3421
3800	21	3389
3900	22	3320
4000	23	3219
4100	24	3098
4200	25	2943
4300	26	2768
4400	27	2521
500	28	2220



รูปที่ 6.3 ภาพกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดกับแรงดึง 2

อลูมิเนียมที่ทำการทดสอบหาบริเวณที่เกิดการเสียหายจะมีลักษณะดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 ภาพแสดงบริเวณที่เกิดการเสียหายมากที่สุด 2

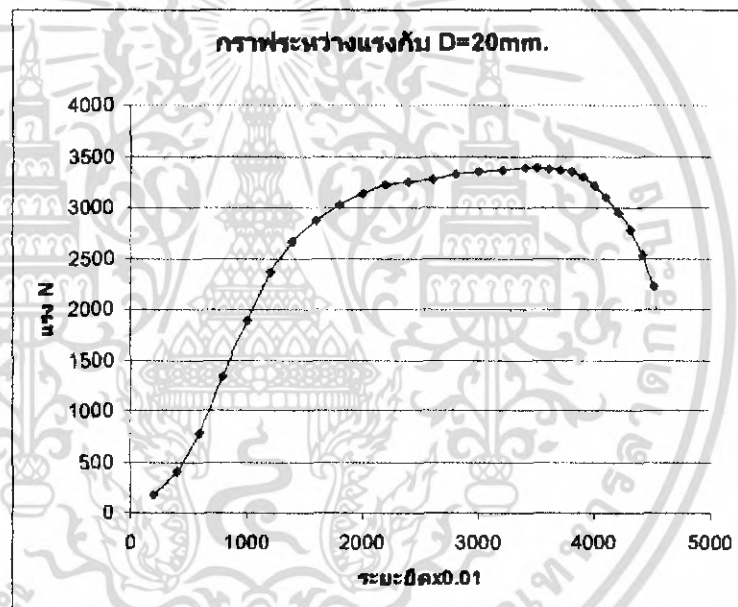
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 สำหรับอคูมิเนียมขนาด 20 มิลลิเมตร ทำการบันทึกค่าแรงดึงทุกๆ 2 มิลลิเมตร จะได้ดังตารางที่

6.3 เราสามารถนำค่าที่ได้จากการบันทึกสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังรูปที่ 6.5

ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงค่าระหว่างแรงดึงและระยะยืด

ระยะ ยืด	จุดที่	แรง
200	1	172.8
400	2	399
600	3	789
800	4	1348
1000	5	1891
1200	6	2371
1400	7	2669
1600	8	2879
1800	9	3027
2000	10	3136
2200	11	3224
2400	12	3258
2600	13	3283
2800	14	3329
3000	15	3350
3200	16	3371
3400	17	3388
3500	18	3392
3600	19	3384
3700	20	3371
3800	21	3350
3900	22	3304
4000	23	3220
4100	24	3102
4200	25	2951
4300	26	2779
4400	27	2526
500	28	2228



รูปที่ 6.5 ภาพกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดกับแรงดึง 3

อคูมิเนียมที่ทำกรทดสอบหาบริเวณที่เกิดการเสียหายจะมีลักษณะดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.6 ภาพแสดงบริเวณที่เกิดการเสียหายมากที่สุด 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

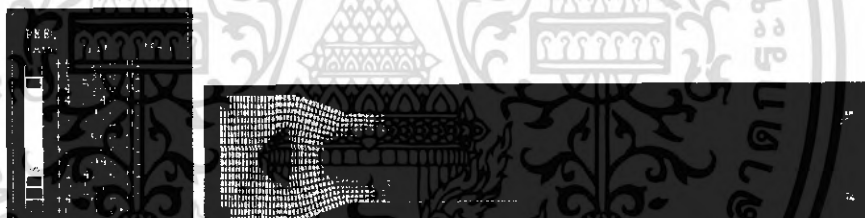
บทที่ 7

สรุปผลและวิจารณ์

7.1 สรุปผล

จากการศึกษาเกี่ยวกับโครงการนี้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. การอัดอลูมิเนียมเป็นการอัดขึ้นรูปเป็นเม็ดเกรนภายในถูกทำการขยายตัว เกรนมีลักษณะบิดเบี้ยวไม่สามารถคืนรูปได้ การอัดแบบนี้เป็นการเพิ่มความเค้นภายในให้กับอลูมิเนียม ความเค้นภายในจะมีผลต่อความแข็งแรงของเนื้อวัสดุ ความเค้นภายในวัสดุยิ่งมากจะเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุมาก เนื่องจากชิ้นงานทดสอบเชื่อมต่อกันด้วยเกลียวเมื่อทำการดึงบริเวณเกลียวจะเป็นส่วนที่ได้รับความเสียหายมากที่สุดเพราะฉะนั้นถ้าเพิ่มความเค้นภายในของเกลียวจะมีความแข็งแรงมาก
2. จากบทที่ 3 ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับค่าความเค้นและความเครียดของพลาสติกจากการขึ้นรูปขนาดต่างๆจะพบว่า การขึ้นรูปให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตรนั้นจะมีค่าความเค้นรวมมากที่สุดและค่าความเครียดพลาสติกมากที่สุด ระบุบอกได้ว่าเป็นการขึ้นรูปที่ใช้พลังงานมากที่สุดและการกระจายตัวของเนื้อวัสดุมีขนาดไม่สม่ำเสมอดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 ค่าความเครียดพลาสติกอลูมิเนียมขนาด 20 มิลลิเมตร

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการขึ้นรูปให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตรจะพบว่า การขึ้นรูปให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 มิลลิเมตรความเค้นและความเครียดพลาสติกมีค่าน้อยกว่าดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 ค่าความเครียดพลาสติกอลูมิเนียมขนาด 18 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7.2 พบว่ามีการกระจายตัวของอลูมิเนียมอย่างสม่ำเสมอการกระจายแต่ละบริเวณมีขนาดใกล้เคียงกันเพราะฉะนั้นการขึ้นรูปอลูมิเนียมให้มีขนาด 18 มิลลิเมตรมีความเหมาะสมทางด้านพลังงานมากกว่า

1. จากการทดสอบพบว่าเมื่อนำอลูมิเนียมทั้ง 3 ขนาดไปทดสอบการดึงพบว่าบริเวณที่เกิดการเสียหายที่สุดจะเป็นบริเวณที่ยังไม่ผ่านการอัดรีดรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 ภาพแสดงบริเวณที่เกิดการเสียหายมากที่สุด

- ก. สำหรับอลูมิเนียมขนาด 18 มิลลิเมตร
- ข. สำหรับอลูมิเนียมขนาด 19 มิลลิเมตร
- ค. สำหรับอลูมิเนียมขนาด 20 มิลลิเมตร

จากวัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือการเพิ่มประสิทธิภาพบริเวณรอยต่อซึ่งการขึ้นรูปของอลูมิเนียมทั้ง 3 ค่านี้ให้ผลตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ซึ่งบริเวณเชื่อมต่อนี้สามารถให้ประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อได้ 100 เปอร์เซ็นต์เมื่อเราคำนึงถึงพลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปอลูมิเนียมขนาด 20 มิลลิเมตรจะสิ้นเปลืองพลังงานในการอัดสูงสุดเมื่อเทียบกับการขึ้นรูปอลูมิเนียมขนาด 18 มิลลิเมตรซึ่งสิ้นเปลืองพลังงานในการอัดน้อยที่สุดแต่ให้ค่าประสิทธิภาพการเชื่อมต่อเท่ากันคือ 100 เปอร์เซ็นต์แสดงว่าการขึ้นรูปอลูมิเนียมขนาด 18 มิลลิเมตรมีค่าเหมาะสมมากที่สุด

จากผลการสรุปทั้ง 3 ข้อกล่าวได้ว่าอลูมิเนียมที่ใช้ในการทดสอบจะทำการอัดขึ้นรูปด้วยแรงที่ต่างๆเพื่อให้ได้พื้นที่หน้าตัดที่ต้องการ โดยพื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุดจะใช้พลังงานน้อยสุดการขยายตัวจะมีขนาดสม่ำเสมอ พื้นที่หน้าตัดยิ่งมากพลังงานที่ใช้จะมากขึ้นการขยายตัวไม่ค้อยสม่ำเสมอ เมื่อพิจารณาถึงผลที่ได้จากการทดสอบแล้วบริเวณที่ขาดจะเป็นบริเวณที่ไม่ใช่บริเวณที่ขึ้นรูปแสดงว่าไม่จำเป็นที่ต้องใช้แรงเพื่อให้อลูมิเนียมมีพื้นที่หน้าตัดมากแต่สิ่งที่สำคัญคือบริเวณที่เสียหายมากที่สุดจะต้องไม่เป็นบริเวณที่ขึ้นรูปเพราะฉะนั้นการขึ้นรูปอลูมิเนียมขนาด 18 มิลลิเมตรจึงมีความเหมาะสมที่สุดต่อการเชื่อมต่อดัวยลักษณะเช่นนี้

7.2 วิจัย

1. อลูมิเนียมที่ใช้ในการอัดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแค่ยวคือ 16 มิลลิเมตรซึ่งเป็นข้อจำกัดของขนาดอลูมิเนียมที่ใช้ในการขึ้นรูป
2. วิธีการทดลองจำเป็นต้องมีหลายขั้นตอนเนื่องจากเราจำกัดเกี่ยวกับขนาดของอุปกรณ์เพื่อให้มีความสะดวกในการขนย้าย
3. เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้เป็นลักษณะการประกอบจึงอาจมีปัญหาทางการติดตั้ง
4. ขนาดของปั๊มขับน้ำมันจำเป็นต้องใช้กำลังมากพอสมควรปั๊มจึงมีขนาดใหญ่และอาจมีปัญหาในการขนย้ายอุปกรณ์ไปแต่ละที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. R.C.Hibberler, "Mechanics of Materials"
2. ศ.ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์, รศ.ชาญ ถนัดงาน, " การออกแบบเครื่องจักรกล "
3. รศ.ทวี เทศเจริญ, คําราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , "กรรมวิธีการผลิต"
4. Anthony Esposito, Professor Emeritus Department of Manufacturing Engineering Miami University Oxford, Ohio, "Fluid Power with Applications"
5. Mikell P.Groover , Professor of Industrial and Manufacturing Systems Engineering Lehigh University, "FUNDAMENTALS OF MODERN MANUFACTURING Material, Processes, and Systems"



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กข้ออ้อย

บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

1. เหล็กข้ออ้อย หมายถึง เหล็กเส้นกลมที่มีบั้ง (transverse rib) และอาจมีครีบริบ (longitudinal rib) ที่ผิว เพื่อ เสริมกำลังยึดระหว่างเหล็กเส้นกับเนื้อคอนกรีต
2. เส้น หมายถึง เหล็กข้ออ้อยหนึ่งเส้น
3. มัด หมายถึง เหล็กข้ออ้อยตั้งแต่สองเส้นขึ้นไปที่มีมัดรวมกัน
4. ขนาดระบุ (nominal size) หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางระบุและพื้นที่หน้าตัดระบุที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1
5. มวลระบุ (nominal mass) หมายถึง มวลของเหล็กข้ออ้อยต่อความยาว 1 เมตร ที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1
6. บั้ง หมายถึง สันนูนบนเหล็กข้ออ้อยที่ตัดกับความยาวของเหล็กข้ออ้อย
7. ครีบริบ หมายถึง สันนูนบนเหล็กข้ออ้อยตามความยาวของเหล็กข้ออ้อย
8. ช่องว่าง (gap) หมายถึง ช่องว่างปลายสุดของบั้งที่อยู่ตรงข้ามกัน

ชั้นคุณภาพ

1. เหล็กข้ออ้อยแบ่งตามส่วนประกอบทางเคมีและสมบัติทางกลออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ คือ SD 30 และ SD 50

ขนาด มวลและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

1. ชื่อขนาด ขนาดระบุและมวลระบุของเหล็กข้ออ้อย ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชื่อขนาด ขนาดระบุและมวลระบุของเหล็กข้ออ้อย

ชื่อขนาด	ขนาดระบุ		มวลระบุ กิโลกรัมต่อเมตร
	เส้นผ่านศูนย์กลาง ระบุ มิลลิเมตร	พื้นที่หน้าตัดระบุ ตารางมิลลิเมตร	
DB 10	10	78.54	0.616
DB 12	12	113.10	0.888
DB 16	16	201.06	1.578
DB 20	20	314.16	2.466
DB 22	22	330.13	2.984
DB 25	25	490.87	3.853
DB 28	28	615.75	4.834
DB 32	32	804.25	6.313

ชื่อขนาด	ขนาดระบุ		มวลระบุ กิโลกรัมต่อเมตร
	เส้นผ่านศูนย์กลาง ระบุ มิลลิเมตร	พื้นที่หน้าตัดระบุ ตารางมิลลิเมตร	
DB 36	36	1017.88	7.990
DB 40	40	1256.64	3.865

หมายเหตุ 1. พื้นที่หน้าตัดระบุ = $\frac{\pi d^2}{4}$ ตารางมิลลิเมตร

2. มวลระบุ กิโลกรัมต่อเมตร มีค่าเท่ากับ 0.00785 (พื้นที่หน้าตัดระบุเป็นตารางมิลลิเมตร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะลูมิเนียม (Aluminum)

เป็นโลหะที่สำคัญ ได้รับการใช้งานมากที่สุดของกลุ่มโลหะที่มีน้ำหนักเบา ทั้งนี้เพราะอะลูมิเนียมมีสมบัติที่เด่นหลายประการ คือ

(1) มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมีกำลังวัสดุต่อหน่วยน้ำหนักสูง (Strength-to weight ratio) จึงนิยมใช้ทำเครื่องใช้ไม้สอยตลอดจนชิ้นส่วนบางอย่างในเครื่องบิน จรวด ซิปนาวูธ และ อุปกรณ์ในรถยนต์เพื่อลดน้ำหนักของรถให้น้อยลงจะได้ประหยัดเชื้อเพลิง

(2) มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่าง ๆ ได้ง่ายและรุนแรงโดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก

(3) จุดหลอมเหลวต่ำ หลอมง่าย

(4) ค่าการนำไฟฟ้าคิดเป็น 64.94 % IACS* ซึ่งไม่สูงนัก แต่เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงใช้เป็นตัวนำไฟฟ้าในกรณีที่คำนึงถึงเรื่องน้ำหนักเบาเป็นส่วนสำคัญ

(5) เป็นโลหะไม่เป็นพิษต่อร่างกายมนุษย์ (nontoxic) และมีค่าการนำความร้อนสูง ใช้ทำภาชนะหุงต้มอาหารและห่อรองรับอาหาร

(6) ผิวหน้าของอะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีดัชนีการสะท้อนกลับของแสงสูงมาก จึงใช้ทำแผ่นสะท้อนในแฟลชถ่ายรูป งานสะท้อนแสงในคอมพิวเตอร์ ไฟฟ้า ไฟหน้ารถยนต์

(7) ทนทานต่อการเกิดสนิมและการผุกร่อนในบรรยากาศที่ใช้งาน โดยทั่วไปได้ดีมาก แต่ไม่ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดแก่และด่างทั่วไป

(8) ซื้อง่ายในท้องตลาดและราคาไม่แพงนัก

ในบทนี้จะกล่าวถึงชนิดและสมบัติของอะลูมิเนียมชนิดต่าง ๆ ที่ใช้งานวิศวกรรม



รูปที่ 1 โลหะอะลูมิเนียมในรูปของอินกอต (ingot) ซึ่งเป็นโลหะต้นแบบลักษณะหนึ่งภายหลังจากการสกัดมาจากแร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 คุณสมบัติบางอย่างของอะลูมิเนียมที่ค่อนข้างบริสุทธิ์

คุณสมบัติของอะลูมิเนียม	มีค่า
หมายเลขอะตอม (atomic number)	13
น้ำหนักอะตอม (atomic weight)	26.97
วาเลนซ์	3
โครงสร้างของผลึก	fcc
มิติของแลตทิซ (lattice dimension) A	4.049
ความหนาแน่นที่ 20 C (g/cm)	2.6989
จุดหลอมเหลว (C)	660.2
จุดเดือด (C)	2450
การหดขณะแข็งตัว (solidification shrinkage) (%)	6.6
ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (Cal/g)	94.5
ความร้อนแฝงของการเป็นไอ (Cal/g)	2260
ความร้อนจำเพาะที่ 100 C (Cal/g)	0.224
การนำความร้อนที่ 20 C (cal/sec cm C/cm)	0.57
การต้านทานไฟฟ้าที่ 20 C -cm	2.6548
การขยายตัวที่ 20 - 100 C (ต่อ C)	0.00002386
20 - 200 C (ต่อ C)	0.00002458
20 - 300 C (ต่อ C)	0.00002545
20 - 400 C (ต่อ C)	0.00002649
20 - 500 C (ต่อ C)	0.00002768
การนำไฟฟ้า (%IACS)	64.94
การสะท้อนแสง (%)	
แสงจากหลอดทั้งสแตน	90
แสง 2000 - 2500 A	86-87
แสง 10000A	96
สี	ขาวเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของอะลูมิเนียมเมื่อทำปฏิกิริยากับธาตุบางธาตุ

เมื่อปฏิกิริยาเคมีกับ	รายละเอียดและผลของปฏิกิริยา
ออกซิเจน (O)	เกิดขึ้นฟิล์มบาง ๆ ที่ผิวกัน ไม่ให้เกิดปฏิกิริยาต่อไป
ไนโตรเจน (N)	เกิดไนไตรด์ที่อุณหภูมิสูง
กำมะถัน (S)	ไม่มีปฏิกิริยา
ไฮโดรเจน (H)	ละลายแทรกซึมเข้าในอะลูมิเนียมได้
กรดอินทรีย์ (เข้มข้น)	ทนได้บ้าง
กรดอินทรีย์ (เจือจาง)	เกิดปฏิกิริยากันทันที
ด่าง	ละลายอะลูมิเนียมได้
เกลือ	กัดกร่อนอะลูมิเนียมได้บ้าง
กรดอินทรีย์	สามารถละลายอะลูมิเนียมในอะลูมิเนียมได้ทันที (ยกเว้น กรดน้ำส้ม)
กรดอินทรีย์ + น้ำ	ไม่เกิดปฏิกิริยากับอะลูมิเนียม
ฮาโลเจน (halogens)	ทำปฏิกิริยากันทันที

1. การกำกับชื่อชิ้นงานขึ้นรูปของอะลูมิเนียมผสม (Designation for wrought aluminum alloys)

ในปี พ.ศ. 2497 สมาคมอะลูมิเนียมแห่งอเมริกา (The Aluminum Association of America) ได้จัดโลหะผสมของอะลูมิเนียมขึ้นรูปเป็นหมวดหมู่ตามส่วนผสมและใช้เลข 4 หลักเป็นสัญลักษณ์ในการกำกับชื่อของโลหะ ใน ปัจจุบันนี้การกำกับชื่อตามนี้เป็นที่รู้จักและใช้กันอย่างแพร่หลายจนเป็นสากลนิยม

ความหมายของระบบเลข 4 หลักมีดังนี้

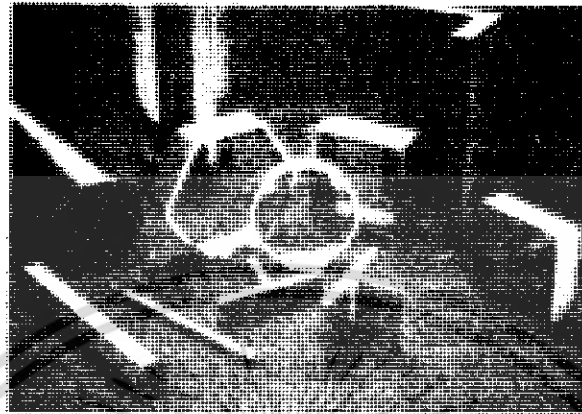
เลขหลักที่หนึ่งเป็นสัญลักษณ์ที่สำคัญที่สุดในการแสดงการกลุ่มของโลหะผสมซึ่งมีอยู่ 8 กลุ่ม ตามตารางที่ 3 เช่น 1XXX แทนโลหะที่มีอะลูมิเนียมไม่น้อยกว่า 99.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เป็นต้น

เลขหลักที่สองใช้สำหรับกำกับเมื่อมีการดัดแปลงส่วนผสมของโลหะให้ผิดไปจากโลหะผสมดั้งเดิมตัวเลข 0 แสดงว่าเป็นโลหะผสมดั้งเดิม ตัวเลข 1-9 แสดงว่าเป็นส่วนที่ได้จากการดัดแปลงให้ผิดไปจากเดิม เช่น 2024 (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.5 Si, 0.1 Cr) เทียบกับ 2218 (4.0 Cu, 2.0 Ni, 1.5 Mg, 0.2 Si) ซึ่ง สังเกตได้ว่าโลหะ 2218 มีนิกเกิลผสมเพิ่มเติมเข้าไป

ตัวเลขหลักที่สามและหลักที่สี่ใช้แสดงชนิดย่อย ๆ ของโลหะผสมที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ความแตกต่างนี้มักจะเป็นส่วนผสมที่แตกต่างกัน เช่น 2014 (4.4 Cu, 0.8 Si, 0.8 Mn, 0.4 Mg) และ 2017 (4.0 Cu, 0.8 Si, 0.5 Mn, 0.5 Mg, 0.1 Cr) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะอะลูมิเนียมในกลุ่ม 1xxx ตัวเลขหลักที่สามและหลักที่สี่จะแสดงปริมาณของอะลูมิเนียมที่เป็นจุดตกนียม 2 ตำแหน่ง ที่ปรากฏภายหลัง 99 เปอร์เซนต์ เช่น 1060 และ 1080 หมายถึงอะลูมิเนียม ขึ้นรูปที่มีอะลูมิเนียมอยู่ 99.60 เปอร์เซนต์ และ 99.80 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ



รูปที่ 2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อะลูมิเนียมขึ้นรูป

ตารางที่ 4 สัญลักษณ์ที่ใช้แทนอะลูมิเนียม

สัญลักษณ์	ธาตุที่เป็นส่วนผสมหลักในอะลูมิเนียม
1XXX	อะลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า
2XXX	99.0%
3XXX	ทองแดง
4XXX	แมกนีเซียม
5XXX	ซิลิกอน
6XXX	แมกนีเซียม
7XXX	แมกนีเซียม กับ ซิลิกอน
8XXX	สังกะสี
9XXX	ธาตุอื่น ๆ ยังไม่มีที่ใช้

หมายเหตุ สัญลักษณ์ตัวเลข 4 หลักนี้ ไม่มีความเกี่ยวข้องกับสัญลักษณ์ ตัวเลข 4 หลักที่ใช้ในโลหะผสมของเหล็กโดยสิ้นเชิง

2. อะลูมิเนียม บริสุทธิ์ทางการค้า (Commercially pure aluminum)

อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ทางการค้าได้แก่โลหะที่มีปริมาณอะลูมิเนียม ไม่น้อยกว่า 99.0 % โดยน้ำหนัก มีสิ่งแปลกปนต่างๆ อย่างละเล็กน้อย ที่สำคัญได้แก่ ทองแดง ซิลิกอน เหล็ก และ แมกนีเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะลูมิเนียมมีกำลังวัสดุไม่สูงนักแต่มีความเหนียวมาก ซึ่งเหมาะสำหรับใช้งานทำภาชนะเครื่องครัว เครื่องใช้ไม้สอยต่างๆ ที่ไม่ต้องการกำลังวัสดุนักเช่น ทำภาชนะใส่อาหาร หม้อ กระทะ กาน้ำ แผ่น อะลูมิเนียมห่ออาหาร ห่อบุหรี่ คังรูปที่ 3 เป็นต้น อะลูมิเนียมที่มีความบริสุทธิ์มากเช่น เกรด EC(Electrical conductivity grade) ใช้ทำสายไฟฟ้าและบัสบาร์(bus bar) เป็นต้น

โลหะผสมชนิดนี้มีที่ใช้เฉพาะผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปที่มีกำลังวัสดุไม่สูงนัก ชิ้นงานขึ้นรูปของโลหะนี้จัดอยู่ในในกลุ่ม Ixxx



รูปที่ 3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อะลูมิเนียมที่ค่อนข้างบริสุทธิ์

3. โลหะอะลูมิเนียมผสมทองแดง

โลหะผสมกลุ่มนี้ถ้าเป็นชิ้นงานขึ้นรูปจะจัดอยู่ในกลุ่ม 2xxx การละลายของทองแดงในเนื้อ อะลูมิเนียมทำให้โลหะแข็งขึ้น อะลูมิเนียมผสมที่มีทองแดงตั้งแต่ 2.2-5.5 เปอร์เซ็นต์ เป็นโลหะที่สามารถเพิ่มกำลังวัสดุให้แข็งขึ้น โดยการทำการรวมวิธีทางความร้อนเพื่อให้เกิดการแยกเฟสใหม่ได้

นอกจากนี้ทองแดงยังช่วยให้สมบัติการไหลของโลหะดีขึ้น ดังนั้นในผลิตภัณฑ์หล่อมักจะผสมทองแดงด้วยปริมาณมากกว่าในชิ้นงานขึ้นรูปคังรูปที่ 4

ธาตุอื่นที่นิยมผสมรวมอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ แมกนีเซียม ทั้งนี้เพื่อเพิ่มกำลังวัสดุให้สูงขึ้น ช่วยให้โลหะเกิดการแยกเฟสแข็งขึ้นได้โดยไม่ต้องทำการรวมวิธีทางความร้อน เช่น 2024 (2.5Cu, 1.5Mg) นิยมใช้ทำกระทะล้อรถยนต์ คังรูปที่ 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ 4 กระทะล้อแม็กนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้อาจผสมนิกเกิลเพื่อให้เหมาะสมสำหรับใช้งานในที่ที่มีอุณหภูมิสูง เช่น ใช้ทำหัวลูกสูบและกระบอกสูบ เช่น 2218 (4Cu, 1.5Mg, 2Ni) เป็นต้น สำหรับชิ้นงานหล่อมักจะมี ซิลิคอน จำนวนเล็กน้อยผสมอยู่เพื่อช่วยให้สมบัติการไหลของโลหะขณะหล่อหลอมดีขึ้น ช่วยให้หล่อโลหะได้ง่ายขึ้นและยังช่วยเพิ่มกำลังวัสดุอีกด้วย เช่น โลหะ 195 (4.5Cu, 0.8Si) เป็นต้น

4. โลหะอลูมิเนียมผสมแมงกานีส

โลหะชนิดนี้ใช้มากในงานทำชิ้นงานขึ้นรูป ไม่นิยมทำชิ้นงานหล่อ เพราะมีกำลังวัสดุไม่สูงนัก ชิ้นงานขึ้นรูปของโลหะนี้จัดอยู่ในกลุ่ม 3xxx ดังรูปที่ 5



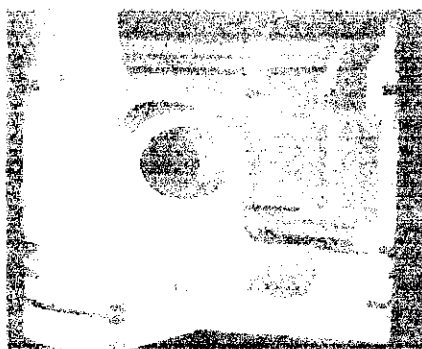
รูปที่ 5 เครื่องถ่ายเทความร้อน

แมงกานีสช่วยทำให้โลหะมีกำลังวัสดุสูงขึ้นและทนทานต่อการผุกร่อนได้ดีมากขึ้น ใช้แทนอลูมิเนียมในกลุ่ม 1xxx ในกรณีที่ต้องการข้อดีดังกล่าว โลหะที่นิยมมากได้แก่ โลหะ 3003 (1.2 Mn) ตัวอย่าง ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เครื่องครัว ภาชนะอลูมิเนียมในอุตสาหกรรมอาหาร ลิ้วรถยนต์ เป็นต้น

5. โลหะอลูมิเนียมผสมซิลิกอน

โลหะผสมกลุ่มนี้ถ้าเป็นชิ้นงานขึ้นรูปจะจัดอยู่ในกลุ่ม 4xxx

ซิลิคอนในอลูมิเนียมจะช่วยให้โลหะมีน้ำหนักเบาขึ้น สมบัติการไหลของโลหะขณะหล่อหลอมดีขึ้น หล่อขึ้นส่วนที่ซับซ้อนได้คมชัดกว่า การหดตัวของโลหะภายหลังการแข็งตัวเกิดขึ้นน้อย กำลังวัสดุสูงมากขึ้นและทนทานต่อการผุกร่อนได้ดีมาก ข้อดีเหล่านี้ทำให้โลหะนี้เหมาะสำหรับทำชิ้นงานหล่อต่างๆ สำหรับงานฉีปะทะทั่วไป มักจะมีทองแดงผสมรวมอยู่ด้วย ซึ่งจะผสมผสานกันและให้สมบัติการหล่อหลอมดีขึ้น ทั้งยังมีสมบัติทางกลสูงพอใช้งานได้ดีผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปที่เค้นมากสำหรับอลูมิเนียมกลุ่มนี้ได้แก่ อะลูมิเนียม 4032 (12 Si, 1 Mg, 1 Cu, 1 Ni) ซึ่งนิยมใช้ตีให้เป็นลูกสูบรถยนต์ (แทนที่จะใช้วิธีหล่อเหมือนทั่วไป) ถ้าเป็นโลหะผสมระหว่างอะลูมิเนียมกับซิลิคอนเท่านั้น มักจะมีปริมาณซิลิคอนสูงประมาณ 12% โดยน้ำหนัก เช่น โลหะ 13 (12% Si) ซึ่งเหมาะสำหรับทำหัวลูกสูบรถยนต์ต่างๆ และหล่องานที่มีผนังบางๆ และมีรูปร่างซับซ้อนได้ดีดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลึกภัณฑ์อะลูมิเนียมผสมซิลิคอน

แต่ถ้ามีธาตุอื่นผสมอยู่ด้วย เช่น ทองแดง ปริมาณซิลิคอนที่ใช้จะลดน้อยลง เช่น โลหะ 85 (5Si, 4Cu) การผสมทองแดงเข้าไปในโลหะช่วยให้สมบัติด้านการกลึงไสของโลหะดีขึ้น แต่จะทำให้กำกวมวัสดุ และความทนทานต่อการผุกร่อนลดลงเล็กน้อย อะลูมิเนียมบางชนิดผสมนิกเกิลจำนวนเล็กน้อยด้วย เพื่อช่วยให้ใช้งานในที่มีอุณหภูมิสูง และลดการขยายตัวของโลหะ โลหะนี้เหมาะสำหรับทำลูกสูบรถยนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modulus of Elasticity

Metals	Modulus of Elasticity	
	MPa	(Mlb/in ²)
Aluminum and alloys	69 x 10 ³	10
Cast iron	138 x 10 ³	20
Copper and alloys	110 x 10 ³	16
Iron	209 x 10 ³	30
Lead	21 x 10 ³	3
Magnesium	48 x 10 ³	7
Nickel	209 x 10 ³	30
Steel	209 x 10 ³	30
Titanium	117 x 10 ³	17
Tungsten	407 x 10 ³	59

Yield Strength & Tensile Strength

Metals	Yield Strength		Tensile Strength	
	MPa	(lb/in ²)	MPa	(lb/in ²)
Aluminum, annealed	28	4,000	69	10,000
Aluminum, CW	105	15,000	125	18,000
Aluminum alloys	175	25,000	350	50,000
Cast iron	275	40,000	275	40,000
Copper, annealed	70	10,000	205	30,000
Copper alloys	205	30,000	410	60,000
Magnesium alloys	175	25,000	275	40,000
Nickel, annealed	150	22,000	450	65,000
Steel, low C	175	25,000	300	45,000
Steel, high C	400	60,000	600	90,000
Steel, alloy	500	75,000	700	100,000
Steel, stainless	275	40,000	650	95,000
Titanium, pure	350	50,000	515	75,000
Titanium alloy	800	12,000	900	130,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Elongation

Material	% Elongation	Material	% Elongation
Metals		Metals	
Aluminum, annealed	40	Steel, low C	30
Aluminum, CW	8	Steel, high C	10
Aluminum alloys, annealed	20	Steel, alloy	20
Aluminum alloys, heat treated	8	Steel, stainless, austenitic	55
Aluminum alloys, cast	4	Titanium, nearly pure	20
Cast iron, gray	0.6	Zinc alloy	10
Copper, annealed	45		
Copper, CW	10		
Copper, brass, annealed	60		
Magnesium alloys	10		
Nickel, annealed	45		

Strength Coefficient, K & Strain Hardening

Metals	Strength Coefficient, K		Strain Hardening
	MPa	(lb/in ²)	Exponent, n
Aluminum, annealed	175	25,000	0.20
Aluminum, CW	240	35,000	0.15
Aluminum alloys	400	60,000	0.1
Copper, pure, annealed	300	45,000	0.50
Copper alloy: brass	700	100,000	0.35
Steel, high C, annealed	500	75,000	0.25
Steel, low C, annealed	850	125,000	0.15
Steel, alloy, annealed	700	100,000	0.15
Steel, stainless, austenitic, annealed	1200	175,000	0.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้