

พฤติกรรมหล่อขึ้นสำหรับกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะ

LUBRICATION CHARACTERISTICS FOR METAL FORMING PROCESS



ดาวรัตน์ ปัญญากาญจน์
DAORUT PANYAKARN

ภ.พ.ร.
๖๔๒๙พ
๒๕๔๘

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 60887
วัน,เดือน,ปี... 6 . ๐ . ๒๕๔๘

1152 3401
.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. ๒๕๔๘

ISBN 974-15-1913-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	พฤติกรรมการหล่อลื่นสำหรับกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะ
นักศึกษา	นางสาว คาวรัตน์ ปัญญากาญจน์
รหัสประจำตัว	43062044
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการหล่อลื่น ของการปั๊มขึ้นรูปโลหะที่หล่อลื่นด้วยสารหล่อลื่นชนิดนิวโคเนียนและนอนนิวโคเนียน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาสารหล่อลื่นชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันปั๊มขึ้นรูปโลหะหรือฟอร์มมิงออยล์มาใช้ทดแทน โดยทำการทดลองเพื่อหาค่าความเค้นเฉือน อัตราการเฉือน ความหนืด และความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่น และสารหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ แล้วนำมาประมาณค่าคงที่ของโมเดล และค่าดัชนีของเพาเวอร์ลอจากนั้นนำมาคำนวณ โดยการประมาณ โมเดลทางคณิตศาสตร์แล้วประยุกต์ใช้สมการเรโนลด์สมการความหยาบของพื้นผิวโลหะ และสมการความหนาฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น เพื่อดำเนินการหาค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นของสารต่างๆ โดยโลหะจะถูกแปรสภาพจากแผ่นเรียบเป็นภาชนะรูปถ้วย จากผลการคำนวณและผลการทดลอง จะพบว่าเมื่อแม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน จะทำให้เกิดฟิล์มสารหล่อลื่นอยู่ระหว่างพื้นผิวทั้งสอง และเกิดการกระจายแรงดันในฟิล์มสารหล่อลื่นขึ้น และพบว่าความหนาฟิล์มและความหนืดของสารหล่อลื่น มีผลต่อค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะ

Thesis Title	Lubrication Characteristics for Metal Forming Process
Student	Miss. Daorut Panyakarn
Student ID.	43062044
Degree	Master of Engineering
Programme	Mechanical Engineering
Year	2005
Thesis Adviser	Assoc.Prof. Mongkol Mongkolwongrojn

ABSTRACT

This thesis presented the theoretical characteristic of the lubrication for metal forming process with Newtonian and Non-Newtonian lubricants. Both power law model index and the relationship between shear stress and shear rate as well as viscosity and shear rate were obtained experimentally. The model of Newtonian and Non-Newtonian lubricants were implemented to obtain the modified Reynolds equation included roughnesses effects. Film thickness distribution is also derived. Minimum film thickness was measured using gap sensor in order to obtain the film distribution. The results show that pressure distribution can be generated in the fluid film between two surfaces when the surfaces are moving toward each another. Film thickness and viscosity have significantly effected the performance characteristic of metal forming process.

II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับเรื่องพฤติกรรม การหล่อขึ้นจาก รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ข้าพเจ้าขอกราบขอบคุณในความอนุเคราะห์จากท่าน

ขอกราบขอบคุณ อ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมพ์สาร ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับเรื่อง การใช้โปรแกรม ABAQUS CAE ซึ่งเป็นแนวทางในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่าน ของข้าพเจ้า ที่เป็นผู้ให้กำลังใจ และเป็นผู้ที่ให้การสนับสนุนในทุกๆด้านด้วยดีเสมอมา

ขอกราบขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่เป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ดาวรัตน์ ปัญญากาญจน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการสัญลักษณ์.....	XIV
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.7 ข้อยกเว้นของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บทความวิจัยที่ผ่านมา.....	4
2.2 น้ำมันหล่อลื่น.....	5
2.3 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน.....	6
2.4 น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์.....	7
2.5 หลักการหล่อลื่น.....	8
2.6 การหล่อลื่นของผิวที่ราบเรียบ.....	8
2.7 ชั้นหล่อลื่นที่สมบูรณ์.....	8
2.8 สารหล่อลื่น.....	9
2.9 फिल्मของสารหล่อลื่น.....	9
2.10 คุณสมบัติของสารหล่อลื่น.....	11
2.11 สารหล่อลื่นในงานดึงขึ้นรูปลึก.....	14
2.12 สารเพิ่มคุณภาพ.....	15

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์.....	19
3.1 การผลิตน้ำมันพืชภายในประเทศ.....	19
3.2 องค์ประกอบของน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์.....	19
3.3 ประเภทของกรดไขมัน.....	20
3.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืช.....	22
3.5 สารต้านทานการเกิดออกซิเดชันในน้ำมัน.....	23
3.6 การดูดซับของน้ำมันกับโลหะ.....	25
บทที่ 4 รีโอโลยี.....	28
4.1 ความหมายของรีโอโลยี.....	28
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน อัตราความเครียดเฉือน และความหนืด.....	28
4.3 เครื่องมือวัดทางรีโอโลยี.....	30
บทที่ 5 ทฤษฎีการขึ้นรูปโลหะ.....	32
5.1 การขึ้นรูปโลหะ.....	32
5.2 Tribology Interaction.....	32
5.3 การดึงขึ้นรูป.....	33
5.4 สารหล่อลื่นในกระบวนการขึ้นรูปโลหะ.....	35
5.5 หน้าที่ของส่วนสำคัญของแม่พิมพ์.....	35
บทที่ 6 ทฤษฎีการหล่อลื่น.....	37
บทที่ 7 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	48
7.1 เครื่องมือวัดความหนืดแบบแกนหมุน.....	48
7.2 เครื่องปั๊มขึ้นรูปโลหะ.....	50
7.3 อุปกรณ์วัดค่าความหนาฟิล์มน้ำมัน.....	52
7.4 แผ่นเหล็กที่ใช้ปั๊มขึ้นรูป.....	53
7.5 การทดลองวัดค่าความหยาบ-ความละเอียดของผิวโลหะ.....	53

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
7.6 สารหล่อลื่นและสารหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งที่นำมาใช้ทดลอง.....	54
บทที่ 8 วิธีการทดลองและผลการทดลอง.....	56
8.1 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหนาฟิล์ม น้ำมันหล่อลื่น.....	56
8.2 ขั้นตอนการทดลองทางรีโอโลยี.....	57
8.3 ผลการทดลองทางรีโอโลยี.....	58
8.4 ผลการทดลองในการหาค่าความหนาฟิล์มน้ำมัน.....	63
8.5 ผลของแรงดันที่มีต่อความหนาฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น.....	66
8.6 ผลการทดลองหาค่าความหยาบ-ความละเอียดบนผิวแม่พิมพ์ และชิ้นงาน.....	66
บทที่ 9 การวิเคราะห์การบีบขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยใช้โปรแกรมABAQUS CAE.....	67
9.1 ชิ้นส่วน.....	67
9.2 การสร้างและกำหนดชนิดวัสดุ.....	67
9.3 การประกอบโมเดล.....	69
9.4 สร้างขั้นตอนการวิเคราะห์.....	70
9.5 การกำหนดค่าสภาวะขอบกับภาระกระทำ.....	70
9.6 การสร้าง Mesh ให้กับโมเดล.....	70
9.7 การสร้าง analysis job และการ run.....	70
9.8 การดูผลลัพธ์จากการวิเคราะห์.....	70
9.9 ข้อแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ABAQUS CAE และการทดลอง.....	72
บทที่ 10 ผลการคำนวณและการวิเคราะห์.....	73
10.1 ผลการคำนวณ.....	73
10.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองและผลการคำนวณ.....	91
บทที่ 11 สรุป.....	93

VI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
11.1 รูป.....	93
11.2 ข้อเสนอแนะ.....	93
เอกสารอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก กราฟแสดง Calibration curve ของ Gap sensor.....	95
ภาคผนวก ข ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	96
ประวัติผู้เขียน.....	103



VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 หน่วยวัดความหนืดของสารหล่อลื่นระบบต่างๆ.....	12
2.2 ความหนืดของสารหล่อลื่นตามSEA.....	13
2.3 สารหล่อลื่นที่ใช้กับการขึ้นรูปลึก.....	15
2.4 ตารางแสดงสารเพิ่มคุณภาพ.....	15
3.1 แสดงผลผลิตของน้ำมันพืช.....	19
3.2 แสดงโครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ.....	21
3.3 ชนิดของกรดไขมันในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์.....	21
3.4 แสดงปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในน้ำมันชนิดต่างๆ.....	21
3.5 แสดงปริมาณของสารโทโคฟีรอลในน้ำมันชนิดต่างๆ.....	24
8.1 แสดงค่าคงที่ของโมเดล m และค่านีเพาเวอร์ลอส n.....	65
8.2 แสดงผลการทดลองวัดค่าความหนืดที่ผิวโลหะ.....	66
9.1 ผลการทดลองหาค่าความเค้นและความเครียดของเหล็กที่นำมาใช้ขึ้นรูป.....	68

VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การกลั่นน้ำมันดิบ.....	5
2.2 ขบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น.....	6
2.3 แสดงการลดความเสียดทานด้วยสารหล่อลื่น.....	11
2.4 แสดงให้เห็นว่าขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเท่ากันความหนืดของน้ำมัน ข. เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าน้ำมัน ก.....	12
3.1 แสดงผลของการใส่สารต้านทานการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์ม.....	25
3.2 การดูดซับทางกายภาพของกรดไขมันบนผิวโลหะ.....	26
3.3 การดูดซับทางเคมีของกรดไขมันบนผิวโลหะ.....	27
3.4 การสร้างชั้นของสบู่กรดไขมันบนผิวโลหะ.....	27
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราความเครียดเฉือน.....	29
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดสัมบูรณ์กับอัตราความเครียดเฉือน.....	30
4.3 เครื่องมือวัดความหนืดแบบแกนหมุน.....	30
6.1 แสดงรูปร่างและส่วนต่างๆของชิ้นงานที่ใช้ในการคำนวณ.....	44
6.2 แสดงความหนาฟิล์มน้ำมันที่กระจายออกตามพื้นผิวส่วนโค้ง.....	45
6.3 แสดงพื้นที่บริเวณแผ่นกลมแบนราบที่เป็นส่วนพื้นของถ้วย.....	47
7.1 แสดงลักษณะของเครื่องมือวัดความหนืดแบบแกนหมุน.....	48
7.2 เครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน.....	49
7.3 แผนผังการทำงานของ Rheology lab test.....	50
7.4 เครื่องปั๊มขึ้นรูปโลหะ.....	50
7.5 Punch.....	51
7.6 Die.....	51
7.7 แผนผังการทำงานของชุดทดสอบ.....	52
7.8 อุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มน้ำมัน.....	52
7.9 Gap sensor ต่อเข้ากับpunch.....	53
7.10 เครื่องวัดความเรียบผิว.....	54
8.1 แสดงการสอบเทียบค่าของอุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มน้ำมัน.....	56
8.2 แสดงแผนผังโคอะแกรมของอุปกรณ์ Rheology lab test.....	57
8.3 ผลการทดลองหาค่าความเค้นเฉือนของน้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์ม	

IX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ผสมสารเติมแต่ง.....	65
9.1 ลักษณะชิ้นงานที่นำไปทดสอบโดยการดึงให้ขาดเพื่อหาค่าความเค้นและ ความเครียด.....	68
9.2 การนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นตัวโมเดล.....	70
9.3 การเปลี่ยนรูปร่างของแผ่นชิ้นงานขณะที่อยู่ในกระบวนการป้อนขึ้นรูปโลหะ.....	71
10.1 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.002$ วินาที.....	73
10.2 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.002$ วินาที.....	74
10.3 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.002$ วินาที.....	74
10.4 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.004$ วินาที.....	75
10.5 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.004$ วินาที.....	75
10.6 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.004$ วินาที.....	76
10.7 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.006$ วินาที.....	76
10.8 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.006$ วินาที.....	77
10.9 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.006$ วินาที.....	77
10.10 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.008$ วินาที.....	78
10.11 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.008$ วินาที.....	78
10.12 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม	

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
10.13	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.008$ วินาที.....79
10.14	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.010$ วินาที.....80
10.15	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.010$ วินาที.....80
10.16	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.012$ วินาที.....81
10.17	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.012$ วินาที.....81
10.18	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.012$ วินาที.....82
10.19	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.014$ วินาที.....82
10.20	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.014$ วินาที.....83
10.21	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.014$ วินาที.....83
10.22	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.016$ วินาที.....84
10.23	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.016$ วินาที.....84
10.24	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.016$ วินาที.....85
10.25	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.018$ วินาที.....85
10.26	ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
สารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.018$ วินาที.....	86
10.27 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.018$ วินาที.....	86
10.28 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.020$ วินาที.....	87
10.29 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.020$ วินาที.....	87
10.30 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสม สารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.020$ วินาที.....	88
10.31 ค่าการกระจายแรงดันน้ำมันที่ค่าความหยาบต่างๆ.....	88
10.32 ค่าการกระจายแรงดันของฟิล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นเมื่อกดแม่พิมพ์ลง ด้วยความดันขนาดต่างๆ.....	89
10.33 ค่าความหนาฟิล์มน้ำมันเมื่อกดด้วยแรงดันขนาดต่างๆ.....	89
10.34 ค่าการกระจายแรงดันของน้ำมันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้แรงกด 50 bar.....	90
10.35 ค่าการกระจายแรงดันของน้ำมันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้แรงกด 100 bar.....	90
10.36 ค่าการกระจายแรงดันของน้ำมันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้แรงกด 150 bar.....	91

รายการสัญลักษณ์

A	=	ค่าคงที่จากการอินทิเกรต
B	=	ค่าคงที่จากการอินทิเกรต
U_1	=	ความเร็วของแม่พิมพ์
U_2	=	ความเร็วของชิ้นงาน
U	=	ความเร็วเฉลี่ยของแม่พิมพ์และชิ้นงาน
R	=	รัศมีความโค้งด้านข้าง
h	=	ความหนาฟิล์มที่ส่วนโค้ง
h_1	=	ความหนาฟิล์ม
l	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นกลม
L	=	ระยะทางที่วัดความหยาบ
m	=	ค่าคงที่ของโมเดล
n	=	ค่าดัชนีเพาเวอร์ลอ
p	=	ความดัน
r	=	ระยะต่างๆ บนแผ่นกลม
r_b	=	รัศมีของแผ่นกลม
x	=	ระยะทางตามแนวแกน
y	=	ระยะความสูงต่ำผิวตามแนวตั้งฉาก
η	=	ความหนืด
σ_1	=	ความหยาบที่ผิวของแม่พิมพ์
σ_2	=	ความหยาบที่ผิวของชิ้นงาน
σ	=	ความหยาบเฉลี่ยที่ผิวของแม่พิมพ์และชิ้นงาน
ϕ_x	=	pressure flow factor

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันนี้มีน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปในงานอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่เป็นน้ำมันแร่ (Mineral oil) ซึ่งได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ และน้ำมันสังเคราะห์ที่ได้จากกระบวนการทางเคมี น้ำมันหล่อลื่นเหล่านี้เมื่อนำมาใช้และมีการเปลี่ยนถ่ายเมื่อหมดสภาพ น้ำมันหล่อลื่นที่หมดสภาพเหล่านี้มักจะไม่ได้รับการกำจัดที่ถูกต้อง ซึ่งมีผลต่อสิ่งแวดล้อม หลังการใช้งานแล้วเนื่องจากย่อยสลายยากจึงทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังทำให้ต้นทุนของสินค้านั้นมีราคาสูง เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นโดยทั่วไปนั้นต้องสั่งเข้ามาจากต่างประเทศ ในช่วงปี พ.ศ. 2517-2525 หมวดน้ำมันเชื้อเพลิงมีมูลค่าการนำเข้าเป็นอันดับแรกเพื่อตอบสนองความต้องการทางด้านพลังงาน รวมทั้งน้ำมันหล่อลื่นก็มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมต่างๆค่อนข้างมาก น้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่ลดแรงเสียดทาน และทำให้การสึกหรอของผิวสัมผัสของชิ้นส่วนเครื่องจักรลดลง รวมทั้งช่วยระบายความร้อน ซึ่งมีความสำคัญมากในวงการอุตสาหกรรม คาดว่าในประเทศไทย ตลาดน้ำมันหล่อลื่นจะมีการเจริญเติบโตขึ้นในอัตราร้อยละ 7-8 ต่อปี (จากฐานเศรษฐกิจ, 2541) จึงส่งผลให้ความต้องการน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base-oil) ซึ่งเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มสูงตามไปด้วย

ในปัจจุบันการเติบโตของการผลิตในภาคอุตสาหกรรมมีมากขึ้น มีการนำเครื่องจักรและเทคโนโลยีทันสมัย เข้ามาใช้มากขึ้นและยังต้องการใช้พลังงานมากขึ้น ต้องการการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ด้วยความต้องการสิ่งต่างๆเหล่านี้จึงมีบางอย่างจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

ประเทศไทยนับว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการปลูกพืชเศรษฐกิจ เช่นปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจ เช่นสุกร ซึ่งผลผลิตที่ได้จากการเกษตรกรรมเหล่านี้ เป็นสิ่งที่ได้จากธรรมชาติ เมื่อนำมาแปรรูปเป็นน้ำมันหล่อลื่นแล้ว จึงย่อยสลายได้ง่าย ไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นสิ่งที่หาได้ง่ายในประเทศไทย สามารถลดการนำเข้าจากต่างประเทศได้

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันสุกร มาศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆ ในการป้อนขึ้นรูปโลหะ โดยใช้น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันสุกร มาเป็นน้ำมันพื้นฐาน (Base oil) และได้ทำการเติมสารเพิ่มคุณภาพ (Additive) ลงไปเพื่อให้มีคุณสมบัติบางอย่างเพิ่มขึ้น และลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์คือต้องการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันสุกร แบบที่ไม่ได้ทำการเติมสารเพิ่มคุณภาพ(Additive) และ คุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันสุกร แบบที่ทำการเติมสารเพิ่มคุณภาพ(Additive) โดย ที่คุณสมบัติที่ต้องศึกษาดังกล่าวคือ ความเค้นเฉือน(Shear stress) ความเครียดเฉือน(Shear rate) ความหนืด(Viscosity) ค่าความหนาฟิล์มน้ำมัน (Thickness) และค่าการกระจายแรงดัน(Pressure distribution) แล้วนำไปเปรียบเทียบคุณสมบัติกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ (Form oil) ว่าน้ำมันหล่อลื่นชนิดใดมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ น้ำมันขึ้นรูปโลหะมากที่สุด และสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อเป็นทางเลือกใหม่ อีกทางหนึ่งที่จะใช้ทดแทนได้

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

น้ำมันหล่อลื่นที่น่าจะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันขึ้นรูปโลหะได้น่าจะมีคุณสมบัติในด้านต่างๆ ใกล้เคียงกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะมากที่สุด คุณสมบัติที่กล่าวมานี้คือ ความเค้นเฉือน(Shear stress) ความเครียดเฉือน(Shear rate) ความหนืด(Viscosity) และเมื่อนำมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปโลหะ แล้ว ก็จะต้องให้ค่าความหนาฟิล์มน้ำมัน (Thickness) และค่าการกระจายแรงดัน(Pressure distribution) ใกล้เคียงกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะที่สุดด้วย

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ทำการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันสุกร แบบที่ไม่ได้ทำการเติมสารเพิ่มคุณภาพ(Additive) และ คุณสมบัติของน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันสุกร แบบที่ทำการเติมสารเพิ่มคุณภาพ(Additive) โดยสารเพิ่มคุณภาพที่เติมคือ ซิงค์ไดอัลไธโอสเฟต (zinc dialkyl dithiophosphates, ZDDP) และสารเพิ่มแรงดัน(extreme pressure, EP) แล้วนำไปทดสอบเพื่อหาค่า ความเค้นเฉือน(Shear stress) ความเครียดเฉือน(Shear rate) และความหนืด(Viscosity) ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Rotational Viscometer) หลังจากนั้น นำน้ำมันชนิดต่างๆมาใช้ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่นเพื่อวัดความหนาฟิล์มน้ำมันที่ได้ แล้วนำไปคำนวณหาค่าการกระจายแรงดันของน้ำมันแต่ละชนิดเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ทำการเตรียมน้ำมันเพื่อที่จะศึกษาคุณสมบัติ ได้แก่ น้ำมันขึ้นรูปโลหะ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และ น้ำมันสุกร แบบที่ไม่ได้ทำการเติมสารเพิ่มคุณภาพ(Additive) และ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันสุกร แบบที่ทำการเติมสารเพิ่มคุณภาพ(Additive) โดยสารเพิ่ม

คุณภาพที่เติมคือ ซิงค์ไดอัลไธโอสเฟต (zinc dialkyldithiophosphates, ZDDP) และ สารเพิ่มแรงดัน (extreme pressure, EP)

2. นำไปทดสอบเพื่อหาค่า ความเค้นเฉือน (Shear stress) ความเครียดเฉือน (Shear rate) และความหนืด (Viscosity) ด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Rotational Viscometer)

3. เตรียมโลหะแผ่น และเครื่องปั๊มโลหะเพื่อใช้ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่นเพื่อวัด ความหนาฟิล์มน้ำมัน

4. วัดค่าความหยาบที่ผิว (Roughness Surface) ของโลหะแผ่นด้านที่จะใช้ในการขึ้นรูป โลหะ และที่ผิวของแม่พิมพ์ (punch)

5. วัดค่าความหนาฟิล์มน้ำมันของน้ำมันแต่ละชนิดที่ได้จากการทดลอง

6. นำค่าความหยาบที่ผิว (Roughness Surface) ของโลหะแผ่นและที่ผิวของแม่พิมพ์ (punch) แล้วนำค่าความหนาฟิล์มน้ำมันของน้ำมันแต่ละชนิดที่ได้จากการทดลอง นำไปคำนวณหา ค่าการกระจายแรงดันของน้ำมันแต่ละชนิด แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันขึ้นรูปโลหะที่เกิดขึ้น

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้ทรัพยากร ทางการเกษตร ที่สามารถผลิตได้ในประเทศให้เกิดประโยชน์ ซึ่งเป็นแนวทางที่จะลดต้นทุนในการผลิตสินค้า ลดการนำเข้าจากต่างประเทศ

2. ในด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว ผลผลิตทางการเกษตรที่ได้จาก ธรรมชาติเมื่อใช้แล้วจะย่อยสลายได้ง่ายกว่าน้ำมันแร่และไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมใช้งบประมาณในการบำบัดของเสีย น้อยกว่าก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

3. สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อเป็นทางเลือกใหม่อีกทางหนึ่งที่จะใช้ทดแทนน้ำมัน ขึ้นรูปโลหะได้

1.7 ข้อจำกัดของการศึกษา

เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลองมีเพียงอันเดียว จึงสามารถวัดค่าความหนาฟิล์ม น้ำมันหล่อลื่นที่เกิดขึ้นระหว่างแม่พิมพ์และชิ้นงานได้เพียงค่าเดียว ถ้ามีแม่พิมพ์รูปร่าง และขนาดที่ ต่างๆกันหลายชิ้น เช่น รูปร่างสี่เหลี่ยม รูปร่างวงรี การทดลองนี้ก็จะสามารถหาค่าความหนาฟิล์ม น้ำมันที่เกิดขึ้นได้หลายค่า ซึ่งความหนาฟิล์มน้ำมันแต่ละค่าที่เกิดขึ้นก็มีผลต่อค่าการกระจายแรงดัน น้ำมัน

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทความวิจัยที่ผ่านมา

Reynolds [1] ได้นำเสนอทฤษฎีการหล่อลื่น หรือ สมการเรย์โนลด์ สำหรับสารหล่อลื่นที่เป็นนิวตอเนี่ยนขึ้นเป็นครั้งแรก ซึ่งทฤษฎีดังกล่าวนี้ว่าเป็นประโยชน์อย่างมาก ต่อการวิเคราะห์และการคำนวณหาพฤติกรรมของการหล่อลื่นของสารหล่อลื่นและได้มีการพัฒนาและวิจัยเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เช่นการพัฒนาให้สารหล่อลื่นมีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น ตลอดจนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นให้สามารถทำงานภายใต้สภาวะการต่างๆ ได้ เป็นต้น ในการปรับปรุงคุณภาพของสารหล่อลื่นที่ใช้กันส่วนใหญ่ได้แก่ การผสมสารเพิ่มคุณภาพ (additive) ประเภทต่างๆ ลงไป สารเพิ่มคุณภาพที่นิยมใช้ในการเพิ่มค่าความหนืดในน้ำมันหล่อลื่น โดยทั่วไปมักเป็นสารเพิ่มคุณภาพประเภทโพลีเมอร์ ซึ่งได้แก่โพลีไอโซบิวทีลีน (Polyisobutylene, PIB) และโอลีฟินโคโพลีเมอร์ (Olefin Copolymer, OCP) เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อผสมสารเพิ่มคุณภาพประเภทโพลีเมอร์ลงไปในน้ำมันหล่อลื่นจะทำให้ น้ำมันหล่อลื่นนั้นมีคุณสมบัติเป็น Non-Newtonian จึงทำให้สมการที่นำเสนออยู่เดิม ไม่สามารถที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์เพื่อหาพฤติกรรมของการหล่อลื่นของสารหล่อลื่นดังกล่าวได้ ดังนั้นจึงได้มีการวิจัยหลายท่านได้พยายามหาสมการการหล่อลื่นที่เป็น Non-Newtonian กันอย่างมากมาดังต่อไปนี้

Horowitz H.H และ Steider F.E [2] ได้ทำการศึกษาสารหล่อลื่น ที่ผสมสาร VI Improver และได้นำเสนอสมการ โมดิฟายด์เรย์โนลด์ สำหรับกาบรองลื่นเพลากลมแบบความยาวจำกัด (Finite Width) โดยในการศึกษาได้พิจารณาให้สมการความหนืดขึ้นอยู่กัฟังก์ชันลอการิทึมของความเค้นเฉือน และได้ใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ในการแก้สมการเรย์โนลด์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการหล่อลื่น เช่น การกระจายความดันของฟิล์มน้ำมันที่หล่อลื่นด้วยทั้งสารหล่อลื่น Newtonian และ Non-Newtonian พร้อมกับหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของสารหล่อลื่นทั้งสองชนิด โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

Tanner R.I[3] ได้นำเสนอทฤษฎีการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิกของกาบรองลื่นเพลากลมแบบสั้นสำหรับสารหล่อลื่นที่เป็น Non-Newtonian โดยใช้สมการ Powerlaw และพิจารณาให้สารหล่อลื่นเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ และอยู่ภายใต้ภาวะอุณหภูมิคงที่ (Isothermal Condition) เพื่อศึกษาผลของความเสียดทานที่มีต่อการหล่อลื่นของสารหล่อลื่นที่เป็น Newtonian และ Non-Newtonian

Safar Z.S [6] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมสมมติของกาบรองลื่นที่มีความยาวมาก (Infinitely Long) ที่หล่อลื่นด้วยสารหล่อลื่นที่เป็น Non-Newtonian โดยใช้สมการเพาเวอร์ลอว์ (Powerlaw) และ

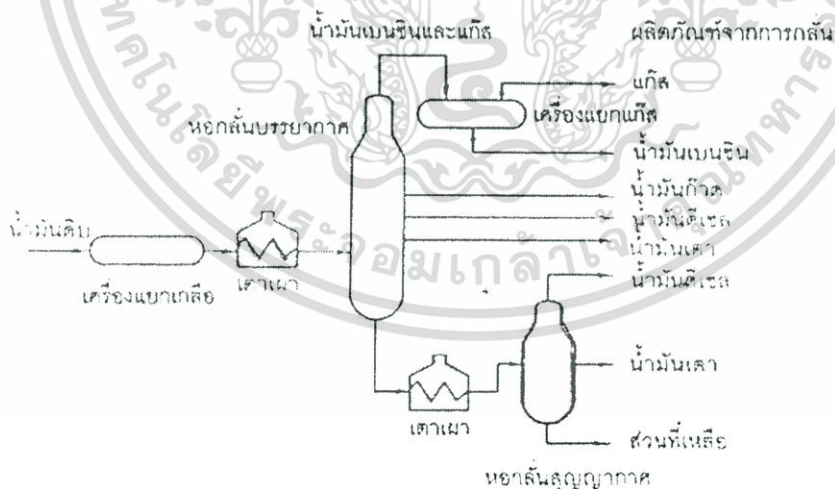
ได้ทำการสมมุติความเร็วให้อยู่ในรูปของสมการ โพลีโนเมียล เพื่อให้ได้สมการเรย์โนลด์สำหรับหาค่าการกระควมดันของฟิล์มน้ำมัน และค่าภาระของกาบรองลื่น จากผลการศึกษาเชิงทฤษฎีพบว่า ค่าอัตราส่วนความเยื้องศูนย์กลางต่างๆ ค่าดัชนีเลขยกกำลัง (Power Index) จะมีผลต่อค่าการกระจายความดัน โดยเมื่อค่าดัชนีเลขยกกำลังมีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าการกระจายแรงดันมีค่าสูงขึ้นด้วย และเมื่อค่าดัชนีเลขยกกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นค่าภาระของกาบรองลื่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

2.2 น้ำมันหล่อลื่น

สารหล่อลื่นที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่มากมาย ซึ่งถ้าแบ่งตามสถานะจะแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ ก๊าซ ของเหลว สารกึ่งแข็ง และของแข็ง ในจำนวนของสารหล่อลื่นทั้งหมดที่ใช้กันสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวจะใช้กันมากที่สุดและรองลงมาคือสารกึ่งแข็งได้แก่ จาระบี

การที่สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะสามารถแยกผิวของวัตถุทั้งสองได้อย่างสมบูรณ์และสามารถรับแรงที่กระทำได้มาก ของเหลวที่นำมาทำสารหล่อลื่นมีทั้งน้ำ สารละลายกับน้ำ (Aqueous Solution) น้ำมันแร่ (Mineral Oil) น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ และ น้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic Oil) ในบรรดาสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวนี้น้ำจะมีการใช้งานที่จำกัด

ในกระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานซึ่งเป็นขั้นตอนการกลั่นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานในโรงกลั่น และทำให้บริสุทธิ์ ขั้นตอนที่สองคือ ขั้นตอนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป ซึ่งเป็นขั้นตอนการผสมน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานด้วยกันเองเพื่อให้ได้ความหนืดตามที่ต้องการกับการเติมสารเคมีเพิ่มคุณภาพ เพื่อให้เหมาะสมในการใช้งาน



รูปที่ 2.1 การกลั่นน้ำมันดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Lube Base Stock)

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็นส่วนที่เราแยกจากหอกล้นน้ำมันดิบ แล้วกลั่นต่อในหอกล้นสุญญากาศ หลังจากนั้นสามารถทำให้บริสุทธิ์และมีคุณภาพดีขึ้นด้วยการแยกส่วนที่ไม่ต้องการออก โดยผ่านกระบวนการต่างๆดังนี้

1 การกลั่น (Distillation)

ในโรงกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิงเราจะแยกเชื้อเพลิงต่างๆออกด้วยหอกล้นบรรยากาศสำหรับในโรงกลั่นน้ำมันหล่อลื่น เอาส่วนที่เหลือ ไปผ่านหอกล้นสุญญากาศ เพื่อให้สามารถกลั่นน้ำมันหล่อลื่นซึ่งเป็นส่วนที่หนักกว่าได้โดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมาก

2 การสกัดด้วยตัวทำละลาย(Solvent Extraction)

โดยมากใช้ฟีนอลเป็นตัวทำละลายในการสกัดสารจำพวกอะโรมาติกเพื่อทำให้น้ำมันมีดัชนีความหนืดสูงขึ้น สีสดใสและไม่รวมตัวกับออกซิเจนได้ง่าย

3 ไฮโดรไฟนิง(Hydrofining)

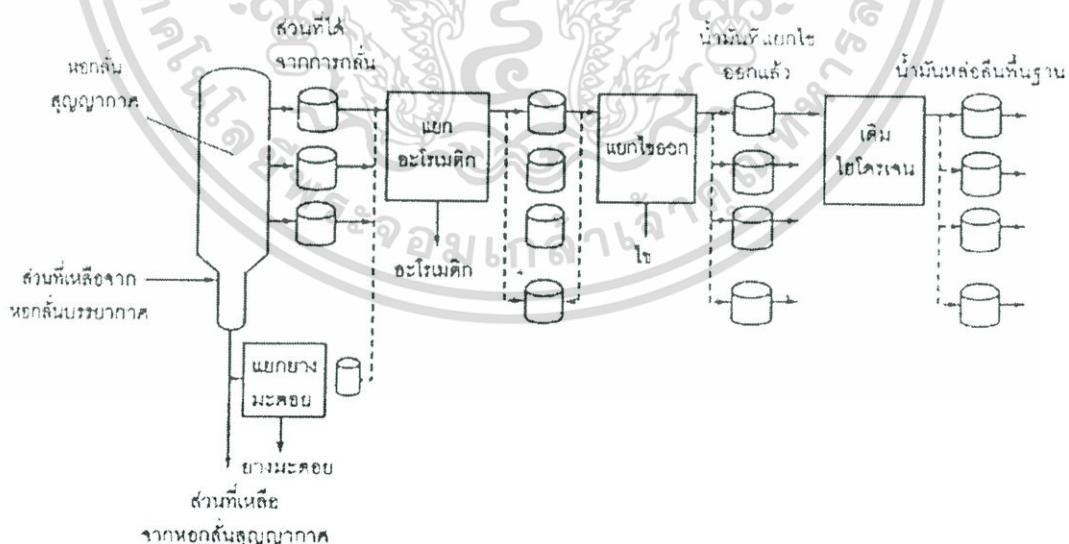
คือกรรมวิธีเติมไฮโดรเจน เพื่อแปลงรูปโมเลกุลของสารประกอบของกำมะถัน ในโครเจนกรด และไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว ทำให้น้ำมันมีสีสวยขึ้น สีคงตัวได้นาน เขม่าลดลง และอายุการใช้งานยาวนาน

4 การแยกไขออก(Dewaxing)

เพื่อให้มีจุดไหลเทต่ำสามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิต่ำ

5 การแยกแอสฟัลท์(Asphalt Separation)

คือการแยกสารจำพวกยางมะตอยออกจากน้ำมันหล่อลื่น



รูปที่ 2.2 ขบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์(Synthetic Oil)

น้ำมันสังเคราะห์เป็นน้ำมันพื้นฐานที่ได้จากกระบวนการทางเคมี ซึ่งเป็นการรวมตัวของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำให้ได้น้ำมันที่มีความหนืดเพียงพอที่จะใช้เป็นสารหล่อลื่น

โดยสารประกอบเริ่มต้นที่ใช้ในการผลิตน้ำมันสังเคราะห์มักจะได้มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและเนื่องจากน้ำมันสังเคราะห์เป็นน้ำมันที่สร้างขึ้นจากกระบวนการทางเคมีจึงสามารถควบคุมให้มีโครงสร้างโมเลกุลตามที่ต้องการได้

สำหรับน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ที่ใช้กันอยู่สามารถแบ่งได้ 5 กลุ่มคือ

1 ไฮโดรคาร์บอนสังเคราะห์(Synthesized hydrocarbon)

ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ได้มาจากน้ำมันดิบที่ใช้กันมากมีอยู่สามชนิด คือ โอลิฟินโอลิโกเมอร์(Olefin Oligomers) ,อัลคิลเอเตอะโรมาติก (Alkylated Aromatics) และโพลีบิวทีนส์(Polybutenes) ข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับน้ำมันแร่ก็คือ มีความมั่นคงมีการไหลที่อุณหภูมิต่ำ ไม่มีไข และมีการระเหยต่ำ

2 เอสเทอร์อินทรีย์(Organic Ester)

เป็นสารหล่อลื่นที่ได้มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นสารหล่อลื่นของเครื่องยนต์เจ็ทของอากาศยาน และใช้ในระบบไฮดรอลิกเป็นต้น เอสเทอร์อินทรีย์ที่ใช้กันอุมีสองชนิด ชนิดแรกคือ ไดเบสิกแอซิดเอสเทอร์(Dibasic Acid Ester) บางครั้งเรียกว่าไดเอสเทอร์(Diester) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไดเบสิกแอซิด (Dibasic Acid) กับโมโนไฮดริคแอลกอฮอล์(Monohydric Alcohol) อีกชนิดหนึ่งก็คือโพลีโอลเอสเทอร์(Polyol Ester) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโพลีไฮดริคแอลกอฮอล์(Polyhydric Alcohol) กับโมโนเบสิกแอซิด(Monobasic Acid) ข้อได้เปรียบเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันแร่คือมีความมั่นคงที่อุณหภูมิสูงและมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

3 โพลีไกลคอลส์(Polyglycols)

เป็นสารหล่อลื่นที่มีจุดเดือดสูงและจุดไหลเทต่ำเหมาะสำหรับสภาพการใช้งานที่อุณหภูมิสูง

4 ฟอสเฟสเอสเทอร์(Phosphate Esters)

เป็นสารหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติทนไฟ

5 น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์อื่น

ได้แก่ซิลิโคนซึ่งเป็นสารหล่อลื่นที่มีดัชนีความหนืดสูงมาก และมีจุดไหลเทต่ำ

ข้อได้เปรียบที่สำคัญของน้ำมันสังเคราะห์เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันแร่คือสามารถนำไปใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่กว้างกว่าน้ำมันแร่คือ ใช้ได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าและสูงกว่าน้ำมันแร่นอกจากนั้น น้ำมันสังเคราะห์บางประเภทยังให้คุณสมบัติเฉพาะ เช่นผสมเข้ากันกันน้ำได้และไม่ติดไฟเป็นต้น

2.5 หลักการหล่อลื่น

ในการเลื่อนหรือเคลื่อนวัตถุชิ้นหนึ่งซึ่งวางอยู่บนวัตถุชิ้นงาน เราต้องการเอาชนะความฝืดอันเป็นแรงต้านทานการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัส กันของวัตถุทั้งสองชิ้น ถ้าหากวัตถุสองชิ้นนั้นเป็นของแข็งเราเรียกความฝืดนั้นว่า ความฝืดระหว่างผิวของของแข็ง ความฝืดดังกล่าวสามารถวัดและหาค่าได้ ความฝืดหรือแรงต้านทานในการเคลื่อนที่ เกิดจากสาเหตุใหญ่ 2 ประการคือ

- 1 ความหยาบของผิววัตถุที่สัมผัสกัน ถ้าผิวหยาบหรือขรุขระมากความฝืดก็มีมาก แต่ถ้าผิวหยาบน้อยหรือขรุขระน้อยความฝืดก็มีค่าน้อย
- 2 การขัดสีระหว่างผิวของวัตถุ ทำให้เกิดความร้อน ถ้าการขัดสีเป็นไปอย่างรุนแรง ความร้อนที่เกิดอาจจะมากพอที่จะทำให้วัตถุทั้งสองชิ้นเชื่อมติดเป็นเนื้อเดียวกัน การหล่อลื่นจะช่วยลดความฝืดหรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิววัตถุทั้งสอง

2.6 การหล่อลื่นของผิวที่ราบเรียบ

ถ้าพิจารณาโดยผิวเฝื่อนอาจเข้าใจว่า ในการเลื่อนวัตถุชิ้นหนึ่งบนผิวของวัตถุอีกชิ้นหนึ่งโดยมีชั้นหล่อลื่นของน้ำมันชั้นอยู่ระหว่างผิวทั้งสอง ในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่อาจจะปาดเอาชั้นหล่อลื่นของน้ำมันออกหมด แต่ความเป็นจริงไม่ได้เป็นเช่นนั้น ในทางตรงกันข้ามในการหล่อลื่นผิววัตถุที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่ ความเร็วนั้นจะช่วยให้เกิดชั้นหล่อลื่นขึ้นเอง และรักษาความหนาของชั้นหล่อลื่นไว้ได้อีกด้วย ทั้งนี้ความหนืดของผิวหล่อลื่นนั้นจึงจะทำให้เกิดมีการหล่อลื่นแบบสมบูรณ์เกิดขึ้นและนอกจากนี้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบชิ้นส่วนที่มีการหล่อลื่นให้มีลักษณะดังนี้

- 1 ขอบหน้าของวัตถุที่เคลื่อนที่จะต้องป้านหรือมน เพื่อป้องกันไม่ให้ขูดเอาสารหล่อลื่นออก
- 2 จะต้องมียู่งว่างระหว่างผิวสัมผัสเพียงพอ เพื่อให้สารหล่อลื่นช่วยแทรกเข้าไปดันผิวทั้งสองให้ห่างกัน
- 3 ผิวสัมผัสของวัตถุที่เคลื่อนที่จะต้องกว้างพอที่จะพยุงตัวลอยบนชั้นหล่อลื่นของน้ำมันได้

2.7 ชั้นหล่อลื่นที่สมบูรณ์

ก่อนที่วัตถุจะเคลื่อนที่ ผิวพื้นล่างจะต้องรองรับน้ำหนักของวัตถุไว้ทั้งหมด ดังนั้นแรงต้านทานการเคลื่อนที่จะสูงเนื่องจากไม่มีชั้นหล่อลื่นอยู่ระหว่างผิวสัมผัส เมื่อวัตถุเริ่มเคลื่อนที่ ผิวหน้าของวัตถุจะปะทะกับน้ำมันก่อนความหนืดของสารหล่อลื่นจะมีความสำคัญที่จุดนี้ เนื่องจาก

ความหนืดมีคุณสมบัติด้านทานการไหลอยู่แล้ว สารหล่อลื่นจึงพยายามจะอยู่กับที่ พร้อมกับถ้าวัตถุมิชอบหน้ามัน วัตถุจึงลื่นไถลไปบนชั้นของสารหล่อลื่นบางๆนั้นได้

2.8 สารหล่อลื่น (Lubricant)

เป็นสารที่ใช้ในการหล่อลื่นชิ้นงานหรือชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของแข็ง ของแข็งที่บดเป็นผงกึ่งของแข็งของเหลว ของเหลว และก๊าซ แต่สารหล่อลื่นที่นิยมใช้กันมากจะอยู่ในลักษณะของ ของเหลวเช่น น้ำมันหล่อลื่น หรือสารที่มีลักษณะเหนียว เช่น จารบี เป็นต้น หน้าที่ของสารหล่อลื่นโดยทั่วไปมีดังนี้

1. ลดความฝืดหรือความเสียดทาน
2. ลดการสึกหรอ
3. ระบายความร้อน
4. ลดการกัดกร่อนและป้องกันการสนิม
5. เป็นฉนวนไฟฟ้า
6. ถ่ายทอดกำลังงาน
7. ลดการกระแทก
8. ช่วยทำความสะอาดสิ่งสกปรก ไม่ให้ติดชิ้นงาน
9. ป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนของพื้นผิวเกิดการสัมผัสกัน

ถ้าชิ้นงานสองชิ้นมีการเคลื่อนที่เสียดสีกัน ย่อมทำให้เกิดการสึกหรอ แต่ถ้ามีตัวสารหล่อลื่นเป็นตัวกั้นอยู่ระหว่างผิวของชิ้นงานทั้งสองก็จะเกิดฟิล์มของสารหล่อลื่นขึ้น สำหรับผิวหน้าของชิ้นงานที่เรียบ การหล่อลื่นด้วยฟิล์มสารหล่อลื่นบางๆก็เพียงพอแล้ว แต่สำหรับผิวหน้าของชิ้นงานที่หยาบหรือขรุขระมากๆ จำเป็นต้องใช้ฟิล์มสารหล่อลื่นที่ค่อนข้างหนามากันระหว่างผิวทั้งสองของชิ้นงาน

2.9 ฟิล์มของสารหล่อลื่น

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

2.9.1 ฟิล์มแบบแห้ง (Dry Film)

เป็นฟิล์มของสารหล่อลื่นแข็ง ส่วนมากจะใช้ในการหล่อลื่นแข็ง เช่น แกรไฟท์หรือโมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ ซึ่งทำหน้าที่รองรับผิวหน้าสัมผัสของชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ โดยที่สารหล่อลื่นแข็งเหล่านี้จะทำหน้าที่ลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของเครื่องจักร เช่น แหวนลูกสูบของปั๊มลมที่ทำด้วยแกรไฟท์

2.9.2 ฟิล์มแบบเปียก (Wet film)

ซึ่งก็คือฟิล์มน้ำมัน เป็นฟิล์มที่ใช้เป็นหลักในการหล่อลื่นเครื่องจักรกล ฟิล์มน้ำมันแบบเปียกนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

1. ฟิล์มชนิดกึ่งสมบูรณ์ (Boundary Film)

เป็นฟิล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหล่อลื่นที่ไม่สมบูรณ์ของสารหล่อลื่น เป็นผลมาจากการออกแบบเครื่องจักรให้มีสมรรถนะในการทำงานสูง ดังนั้นฟิล์มสารหล่อลื่นจึงต้องมีความแข็งแรงทนทานและมีแรงเกาะยึดดีเป็นพิเศษ เพื่อให้คงทนต่อสภาพการทำงานของเครื่องจักรได้ เช่น การหล่อลื่นเฟืองท้ายต้องใช้น้ำมันที่ทนต่อแรงกดดันได้สูง ลักษณะของฟิล์มน้ำมันแบบกึ่งสมบูรณ์นี้ยังแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

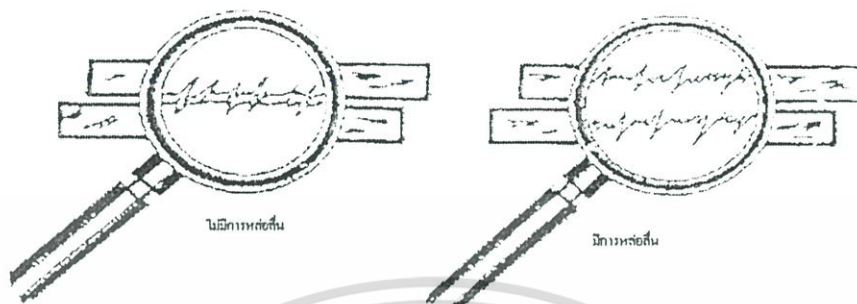
1.1 แบบโพลาร์ (Polar Type) ลักษณะของฟิล์มน้ำมันแบบนี้จะเป็นฟิล์มน้ำมันที่มีสารเพิ่มคุณภาพผสมอยู่ จะช่วยให้โมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอนไปจับตัวรวมกันที่ผิวของโลหะอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับขนแปรง ทำให้ช่วยลดการสึกหรอที่จะเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัส

1.2 แบบอีพี (E P Type) เป็นฟิล์มน้ำมันที่สารเพิ่มคุณภาพประเภทคลอรีนซัลเฟต หรือฟอสเฟต ซึ่งสารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับผิวสัมผัสของโลหะที่มีอุณหภูมิสูงมากๆ ทำให้ได้แผ่นฟิล์มเหนียวที่เคลือบผิวโลหะอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งฟิล์มชนิดนี้จะลดการสึกหรอให้กลับขึ้นส่วนได้ดี

2. ฟิล์มชนิดสมบูรณ์ (Full Film)

เป็นฟิล์มที่ให้บริเวณผิวสัมผัสที่เสถียรหรือสมบูรณ์ที่สุด โดยผิวสัมผัสของโลหะจะลอยตัวหรือแยกออกจากกันโดยเด็ดขาด ซึ่งจะช่วยลดการสึกหรอที่เกิดขึ้นแต่จะมีแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นเนื่องจากความหนืดของน้ำมัน ลักษณะของฟิล์มน้ำมันชนิดนี้จะคล้ายกับการทำงานของลูกปืน คือ แผ่นฟิล์มบางๆจะทำหน้าที่คล้ายกับลูกปืนเล็กๆ จำนวนมากที่พยายามยกผิวสัมผัสให้แยกออกจากกัน เช่นการหล่อลื่นระหว่างเพลากับแบร์ริง ซึ่งช่วยลดการสึกหรอ แต่จะมีความเสียดทานเกิดขึ้นเนื่องจากความหนืดของน้ำมัน นอกจากนั้นยังมีลักษณะของฟิล์มน้ำมันอีกแบบหนึ่งที่เรียกว่าอี เอช ดี (Elasto Hydro Dynamic ; EHD) ซึ่งหมายถึง การที่ผิวสัมผัสขูดตัวเนื่องจากรับแรงกดมากเป็นพิเศษบนพื้นที่เล็กๆ การขูดตัวทำให้พื้นที่ที่รับน้ำหนักขยายตัวเพิ่มขึ้นและความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้นในเวลาเดียวกันเนื่องจากอยู่ภายใต้แรงกดดันสูง ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นในพื้นที่ที่ขูดตัวลงนั้นทำให้เกิดแผ่นหรือฟิล์มน้ำมันที่สมบูรณ์สามารถแยกหน้าสัมผัสของชิ้นงานออกจากกันได้ การหล่อลื่นแบบนี้จะพบในการหล่อลื่นพวกเกียร์ และลูกปืน เนื่องจากมีผิวหน้าโค้งทำให้พื้นที่ที่ต้องรับน้ำหนักมีขนาดเล็กเท่านั้น ด้วยแรงกดดันสูงและพื้นที่รับแรงเล็ก ซึ่งฟิล์มน้ำมันไม่น่าจะรับน้ำหนักทั้งหมดไว้ได้ แต่ปรากฏว่า

ผิวหน้าเกิดการยุบตัวทำให้ขยายพื้นที่ในการรับน้ำหนัก และเพิ่มความหนืดให้กับน้ำมันหล่อลื่นขึ้นได้



รูปที่ 2.3 แสดงการลดความเสียดทานด้วยสารหล่อลื่น

2.10 คุณสมบัติของสารหล่อลื่น

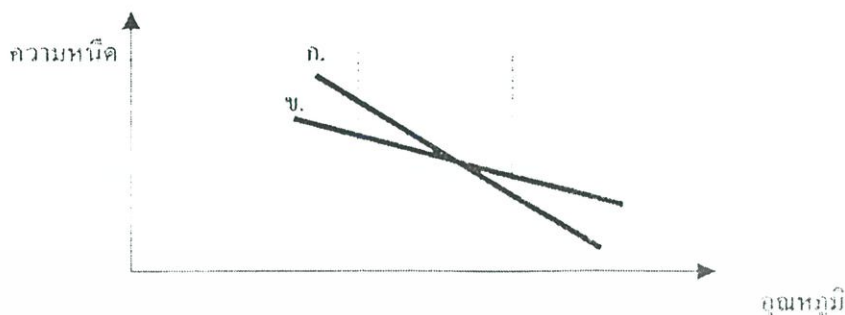
ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของสารหล่อลื่นในการที่จะไหลแทรกซึมเข้าไปอยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างผิวสัมผัส ซึ่งอาจจะเป็นแบริ่งและเพลลาเพื่อรับแรงกดและทำการหล่อลื่น โดยทั่วไปความหนืดของของเหลวคือ ความต้านทานในการไหล เช่น น้ำเชื่อมมีความหนืดสูงกว่าน้ำจึงไหลได้ช้ากว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตออกจำหน่ายมีความหนืดอยู่ในระดับต่างๆกัน เรียกว่าเกรดต่างๆ ซึ่งแต่ละระดับจะเหมาะกับการหล่อลื่นงานและเครื่องจักรแต่ละชนิด

ความหนืด (Viscosity) คือความต้านทานการไหลของน้ำมันหล่อลื่น เป็นคุณสมบัติสำคัญของสารหล่อลื่น มีการแปรผกผันกับอุณหภูมิของสารหล่อลื่น ถ้าอุณหภูมิต่ำ สารหล่อลื่นจะข้นให้ฟิล์มน้ำมันที่หนา ถ้าอุณหภูมิสูงสารหล่อลื่นจะใส และจะให้ฟิล์มน้ำมันที่บาง หน่วยวัดความหนืดมีหลายระบบ และอุณหภูมิที่วัดก็แตกต่างกัน

คุณสมบัติที่สำคัญของสารหล่อลื่นคือคุณสมบัติที่สามารถปรับตัวของมันเองให้เข้ากับการใช้งานที่มีสภาพเปลี่ยนไปได้ดี ความร้อนที่เกิดจากความหนืดภายในของน้ำมันก็จะมากขึ้นทำให้ความหนืดของน้ำมันต่ำลงและพอเหมาะกับสภาพใหม่ของการหล่อลื่นได้ดี ในทำนองเดียวกันน้ำมันที่ข้นเกินไปจะทำให้ความร้อนมากและก็จะลดความหนืดลงได้มากเหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตามตามความสมดุลของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและความหนืดที่ลดลงก็ยังไม่เป็นไปได้อย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่มีความหนืดพอเหมาะ ดังนั้นจึงไม่ควรละเลยต่อการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นให้มีความหนืดเหมาะสม อัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปเท่ากันของน้ำมันแต่ละชนิดแตกต่างกัน น้ำมันที่ไหลลงน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและขึ้นน้อยเมื่ออุณหภูมิต่ำ ถือว่าน้ำมันชนิดนี้มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ “ดัชนีความหนืดสูง” ดังนั้นสำหรับงานที่มีสภาพของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากๆ ต้องเลือกใช้น้ำมันที่มีดัชนีความหนืดสูง



รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเท่ากัน ความหนืดของน้ำมัน ข. เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าน้ำมัน ก.

ตารางที่ 2.1 หน่วยวัดความหนืดของสารหล่อลื่นระบบต่างๆ

ระบบของความข้นใส	หน่วย/ปริมาณของน้ำมันที่วัด	อุณหภูมิที่ใช้ °ฟ (°ซ)	ประเทศที่นิยมใช้
คิเนแมติก (Kinematic)	Stoke (St) หรือ Centistoke (cSt)	104(40)และ 212(100)	ทั่วโลก (ระบบสากล เมตริก)
เซโบล์ท แซล (Saybolt Universal)	ยูนิเวอร์แซล Saybolt Universal(SUS) Seconds(SUS)/60ml(SUS)	100(38) และ 210(99)	สหรัฐอเมริกา
เรดวูดเบอร์ 1 (Redwood No.1)	Redwood No.1/60ml(RW 1) Seconds	701(21) , 100(38) และ 140(60)	สหราชอาณาจักร
เอนเจอร์ (Engler)	Engler degree/200 ml (E)	68(20) , 122(50) และ 212(100)	เยอรมันและประเทศที่ใช้มาตราเมตริก

หมายเหตุ : ปัจจุบันนิยมใช้หน่วยวัดความหนืดหรือความข้นใสเป็นเซนติสโตก(cSt)

เครื่องวัดความหนืด(Viscometer) แบบที่ใช้กันแพร่หลายมากที่สุดได้แก่ คิเนแมติก (Kinematic Viscometer) ซึ่งเป็นหลอดแก้วรูปตัว U มีรูวัดความหนืด (Orifice) อยู่ภายในและมีกระเปาะสำหรับบรรจุสารหล่อลื่น วิธีวัดความหนืด จะจับเวลาที่น้ำมันหล่อลื่นจำนวนหนึ่งไหลผ่านรูวัดความหนืดตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้แล้วคำนวณหาค่าความหนืดจากเวลาที่วัดได้กับค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Constant) ของเครื่องวัดความหนืดนั้น ความหนืดที่หาด้วยวิธีนี้เรียกว่า ความหนืดคินเมติก มีหน่วยเป็นเซนติสโตก (Centistoke = cSt) คือ 1 St เทียบเท่ากับ 100 cSt

เครื่องวัดความหนืดแบบอื่นๆ ส่วนมากมีวิธีวัดคล้ายกันคือ จับเวลาที่น้ำมันจำนวนหนึ่งไหลผ่านรูวัดความหนืดที่อุณหภูมิที่กำหนด เวลาที่วัดคิดเป็นวินาที

ดัชนีความหนืด (Viscosity Index = VI) คือ ค่าบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน สารหล่อลื่นที่มีค่าดัชนีความหนืดสูงจะเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อย เมื่ออุณหภูมิการใช้งานเปลี่ยนไป ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสารหล่อลื่น สารหล่อลื่นที่มีค่าดัชนีความหนืดต่ำ ขณะที่อุณหภูมิต่ำสารหล่อลื่นมักจะมีค่าความหนืดสูง ชิ้นส่วนเครื่องจักรเคลื่อนไหวลำบากแต่พอใช้งานสักพักหนึ่งอุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดก็ลดลงต่ำลงมาก ทำให้ฟิล์มสารหล่อลื่นบางลง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เครื่องจักรสึกหลอได้

ตารางที่ 2.2 ความหนืดของสารหล่อลื่นตาม SAE

เบอร์น้ำมันเครื่อง	ความหนืด (cP) ที่อุณหภูมิ (°ซ)		ความหนืด cSt ที่ 100 °ซ	
	ที่ข้อเหวี่ยงหมุนได้	ที่สามารถบีบได้	ต่ำสุด	สูงสุด
0 W	3,250 ที่ -35	30,000 ที่ -35	3.8	-
5W	3,500 ที่ -30	30,000 ที่ -30	3.8	-
10W	3,500 ที่ -20	30,000 ที่ -20	4.1	-
15W	3,500 ที่ -20	30,000 ที่ -20	5.6	-
20W	4,500 ที่ -10	30,000 ที่ -15	5.6	-
25W	6,000 ที่ -5	30,000 ที่ -10	9.3	-
20	-	-	5.6	ไม่เกิน 9.3
30	-	-	9.3	ไม่เกิน 12.5
40	-	-	12.5	ไม่เกิน 16.3
50	-	-	16.3	ไม่เกิน 21.9
60	-	-	21.9	ไม่เกิน 26.1

- หมายเหตุ :
1. cP = Centipoise = cSt x ความหนาแน่นของน้ำมัน
 2. เบอร์ที่ตามด้วย W เป็นน้ำมันเครื่องเขตหนาว (Winter)
 3. ในประเทศไทยใช้น้ำมัน SAE 30 , 40 , และ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. น้ำมัน SAE 10 W ใช้กับระบบไฮดรอลิก

2.11 สารหล่อลื่นในงานดิ่งขึ้นรูปลึก

การเลือกสารหล่อลื่นที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการขึ้นรูป ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำชิ้นงาน สภาพผิวของวัสดุ รวมทั้งสภาพผิวของวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ด้วย สารหล่อลื่นที่ใช้กันโดยทั่วไปในงานดิ่งขึ้นรูปลึก ดังได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 สารที่เป็นตัวผสม ตัวอย่าง เช่น กราไฟต์ ซึ่งขัดไฟด์ ปูนขาว ซอติก ฮาโลเจน และสารประกอบของ ฟอสฟอรัส หรืออาจเป็นตะกั่วออกไซด์ขาว สารหล่อลื่นที่กล่าวมาถูกใช้ผสมกับน้ำมันเครื่องเพื่อเป็นส่วนช่วยให้สารเหล่านั้นรวมตัวกันได้เมื่ออยู่ภายใต้แรงกดดันสูงสารหล่อลื่นที่อยู่ในรูปของแข็ง (Solid Lubrication) ได้แก่ สารสบู่ (Metal soap) โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ และกราไฟต์เหลว (Colloidal graphite) ได้ถูกใช้ในงานดิ่งขึ้นรูปลึกด้วย สารดังกล่าวมานี้สามารถที่จะปกป้องการสัมผัสโดยตรงแม่พิมพ์กับแผ่นชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุจำพวก ออกเทนไนติก ตัวอย่างเช่น [X 5 CrNi18 9(AISI 304 SS)] สามารถที่จะใช้กระบวนการดิ่งขึ้นรูปได้โดยปราศจากรอยขีดข่วน เมื่อใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากเหล็กแม่พิมพ์ 210 Cr 46 (AISI D3) เพียงแต่ใช้สารสบู่ (Metal soap) หล่อลื่นเท่านั้นผิวงานสำเร็จจากการตรวจวัดพิสูจน์แล้วว่าอนุภาคของประกอบที่ผิวชิ้นงานรูปด้วยที่ได้ผ่านการดิ่งขึ้นรูปด้วย สารหล่อลื่นแคดเมียมสเตียเรท (Cadmium stearate) ที่บนชิ้นงานชี้ให้เห็นว่า ไม่มีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างแผ่นงานกับแม่พิมพ์ เมื่อวัสดุที่ใช้กับงานดิ่งขึ้นรูปแล้วยังปรากฏว่ามีการขึ้นรูปได้ยากลำบาก เช่น การขึ้นรูปชิ้นงานที่มีรูปร่างแบบสี่เหลี่ยม หรือ ขึ้นรูปด้วยลึก ดังนั้นอาจจำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่นช่วย เช่น การเคลือบด้วยฟอสเฟต (Phosphatecoating) ในการเพิ่มการหล่อลื่นของตัวเองเพื่อป้องกันการเกิดตาย (Fretting) ส่วนประกอบของการขึ้นรูปกับชิ้นงานที่มีรัศมีด้านล่างขนาดใหญ่มากนั้นจะต้องการสารหล่อลื่นที่จะช่วยคงรูปความหนาไว้ มิฉะนั้นมันอาจจะทำให้ชิ้นงานที่จะขึ้นรูปได้ไม่สม่ำเสมอ ในการดิ่งขึ้นรูปแผ่นพอลิที่มาจากพลาสติก (PVC , PTFE) สามารถทำให้สำเร็จในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นรูปร่างส่วนประกอบแบบง่าย ๆ ของวัสดุที่มีความเหนียวแน่น บางครั้งการใช้แผ่นงานที่ทำจาก Stainless-Steel และเคลือบด้วยพลาสติกฟิล์ม ซึ่งอาจจะเป็นการจุ่มหรือ การสเปรย์ ค่าขีดจำกัดอัตราส่วนการขึ้นรูปที่มีค่ามากสามารถใช้ได้ ค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างรัศมีแม่พิมพ์กับแผ่นงานมีอัตราสูงขึ้น (จากแม่พิมพ์ที่มีผิวยาว และพื้นที่บริเวณนี้ไม่มีสารหล่อลื่น) และแรงเสียดทานระหว่างแผ่นงานกับแม่พิมพ์มีอัตราต่ำสุดเท่าที่เป็นไปได้

จากตารางที่ 2.3 สารหล่อลื่นที่ใช้กับการขึ้นรูปลึก ความหมายของตัวย่อ : E-สารผสมเหลว G-กราไฟต์ S-น้ำมันสบู่ Sa-เกลือ T-ไขมัน Mo-น้ำมันแร่ FC-สารประกอบไขมัน P-โพลีเมอร์ Es-เกลืออินทรีย์สาร CC-การเคลือบด้านตรงข้าม Wa-แว็กซ์ CI-สารเพิ่มคลอรีน EP-สารเพิ่มแรงดันสูงสุด MoS₂-โมลิบดีนัมไดซัลไฟด์ FO-น้ำมันไขมัน L-ลาโนลิน สีย้อมสบู่ =Pigmented soaps

ตารางที่ 2.3 สารหล่อลื่นที่ใช้กับการขึ้นรูปลึก

วัสดุและโลหะผสม	ชั้นรูปเย็น	ชั้นรูปร้อน
อลูมิเนียม	สารละลายสังเคราะห์ MO+FO,E,L ชั้สเฟนชั้น,Wa ชั้สเฟนชั้น,สารละลายของ S	G ชั้สเฟนชั้น(สารแขวนลอย)
ทองแดง	E+FO,MO+FO,S ชั้สเฟนชั้น,Wa ชั้สเฟนชั้น , T ชั้สเฟนชั้น และสารละลายสังเคราะห์	ผงสีผสมน้ำมัน(Pigmented pastes) G ชั้สเฟนชั้น
แมกนีเซียม	สารละลาย+FC,MO+FC	G+MoS ₂ ,S+Wa,T+G
นิกเกิล	E,MO+EP,CI Wa,CC+S	G ชั้สเฟนชั้น,Mos ₂ ชั้สเฟนชั้น, การเคลือบเรซินกับ+Sa
โลหะทนไฟ	แผ่นทองแดง	MoS ₂ ,Gชั้สเฟนชั้น
เหล็ก ผสมคาร์บอน, โลหะผสมต่ำ	E,Sเหลว, Wa ,FO+MO,P,CC+S,MoS ₂ หรือ G ในจาระบี ,สารละลายสังเคราะห์	Gชั้สเฟนชั้น
สแตนเลส	FO+MO,Wa,P,MO+EP,สีข้อมสบู ,CC+S	Gชั้สเฟนชั้น
ไทเทเนียม	Wa,P,สีข้อมสบู,CC+S	G and MoS ₂ ชั้สเฟนชั้น

2.12 สารเพิ่มคุณภาพ (Additives)

ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานล้วนๆ มักจะมีคุณสมบัติไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่น ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพลงไป ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงสารเพิ่มคุณภาพ

ประเภทของสารเพิ่มคุณภาพ	ชนิดของสารเคมีที่สามารถเพิ่มคุณสมบัติต่างๆ	เหตุผลที่ใช้
สารต้านทานการเกิดออกซิเดชัน (Anti-Oxidants)	- Zine Dialky Dithiophosphate - Phenate Sulfide - Phospho Sulfide - Sulfurized Esters	เป็นสารที่ใช้หน่วงหรือต้านทานการรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศ ไม่ให้ทำปฏิกิริยากับน้ำมัน โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

	<ul style="list-style-type: none"> - Aromatic Amines - Hindered Phenol 	เฉพาะที่อุณหภูมิสูงๆ
สารต้านทานการสึกหรอ (Corrosion Inhibitors)	<ul style="list-style-type: none"> - High Base Additives. Sulfonates , Phosphates - Zine Dialkyl Dithiophosphates - Phosphosulfurized Terpenes - Dithiocarbamate - Alkaline Detergent 	เป็นสารที่ช่วยลดการสึกหรอที่เกิดจากการกัดกร่อนของสารเคมี เช่น กรดที่จะกระทำต่อผิวชิ้นส่วนเครื่องกล เช่น ในเครื่องยนต์
สารป้องกันการเกิดสนิม (Anti – Rust Additives)	<ul style="list-style-type: none"> - Polar Compounds such as Metallicsoaps , Ester , Ethers - Organic Acid - Amines - Alkaline detergent - AlkenyIsuccinic acid - Alkelate phenoxy alkaline oxide 	ใช้เพื่อป้องกันสนิมในงานที่อาจมีความชื้นหรือน้ำเข้ามาสัมผัสผิวโลหะ
สารป้องกันการสึกหรอ (Anti – Wear Additives)	<ul style="list-style-type: none"> - Zinc Dialky Dithiophosphate - Tricresyl Phosphate 	ป้องกันการสึกหรอของผิวชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่รับภาระน้ำหนักสูงซึ่งมักจะเกิด Boundary Lubrication ขึ้นบ่อยๆ
สารรับแรงกดสูง (Extreme Pressure Additives)	<ul style="list-style-type: none"> - Organic Compounds of Sulfur, Phosphorus or Chlorine Lead Naphthenate , Lead Soap 	ใช้เพิ่มความแข็งแรงของฟิล์มน้ำมันและเพิ่มความสามารถในการรับภาระน้ำหนักป้องกันการสึกหรอและหลอมติดในภาวน้ำหนักสูง
สารช่วยกระจายเขม่าตะกอน (Dispersants)	<ul style="list-style-type: none"> - Metallic Sulfonates, Phenates and phosphates - Amines, phenol - Alkyl substituted salieylates - Succinimides 	สารชนิดนี้จะทำหน้าที่คอยจับสิ่งสกปรก หรือสิ่งแปลกปลอมที่ปนอยู่ในน้ำมันให้รวมตัวกันอยู่ที่ก้นอ่างน้ำมันในรูปของตะกอนน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

	<ul style="list-style-type: none"> - Polyisobutenyl Succinimide - Polyisobutenyl Succinic ester 	หรือวานิช
สารที่เป็นด่าง (Alkaline Agents)	<ul style="list-style-type: none"> - Overbased metallic sulfonates,phenates and phosphates 	ใช้ทำลายกรดที่เกิดจากการเผาไหม้กำมะถันในเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายใน
สารลดปฏิกิริยาแรงของผิวโลหะ (Metal Deactivators)	<ul style="list-style-type: none"> - Zine Dialky Dithiophosphate - Metal Phenates - Organic Nitrogen Compound 	ใช้ลดและป้องกันผลจากปฏิกิริยาแรงของผิวโลหะต่างๆ เช่น ทองแดง ตะกั่ว เหล็ก โครเมียม ในเครื่องจักรกลที่กระตุ้นให้น้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้น้ำมันเสื่อมสภาพช้าลง
สารเปลี่ยนแปลงความฝืด (Friction Modifiers)	<ul style="list-style-type: none"> - Molybdenum Disulfide - Amides,Amines - Faty Acid esters 	ใช้เปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดของผิวชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่สัมผัสกับน้ำมัน
สารเพิ่มดัชนีความหนืด (Viscosity – index Improver)	<ul style="list-style-type: none"> - Polyisobutylene - Methacrylate - Acrylatecopolymers 	เป็นสารที่ใช้ลดอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืด เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้น้ำมันหล่อลื่นสามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่ต่างๆกัน
สารลดจุดไหลเท (Pour Point Depressants)	<ul style="list-style-type: none"> - Methacrylate polymer - Wax alkylated phenol its polymer 	ใช้ลดจุดไหลแข็งตัวของน้ำมันซึ่งเกิดขึ้นเพราะไขในน้ำมันแยกตัวเป็นผลึกโดยป้องกันมิให้ผลึกไขเกาะตัวกันเป็นกลุ่มทำให้น้ำมันสามารถไหลได้ในอุณหภูมิต่ำ
สารป้องกันฟอง (Anti – foamants)	<ul style="list-style-type: none"> - Silicone polymer - Organic polymer 	ใช้ป้องกันการเกิดฟองถาวรเมื่อน้ำมันถูกหมุนเวียน ใช้ในระบบ เช่น ในอ่างน้ำมันเครื่อง เกียร์ไฮดรอลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

60887

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

สารเพิ่มความลื่นและความ แข็งแรงของฟิล์มน้ำมัน (Oiliness&film strength)	<ul style="list-style-type: none"> - Lard oil - Oleic acid - Tallow, Sperm oil - Blown rapeseed oil synthetic esters of fatty acid 	ใช้เพิ่มความลื่นและเพิ่มความ แข็งแรงของฟิล์มน้ำมัน และ ทำให้น้ำมันเข้ากับน้ำได้บ้าง
สารช่วยให้น้ำมันเข้ากับน้ำ (Emulsifiers)	<ul style="list-style-type: none"> - Surfactant - Soap of fats and fattyacid - Sodium sulfonates polar compounds 	ใช้ลดแรงดึงผิวระหว่างน้ำกับ น้ำมันทำให้น้ำมันสามารถ แขวนตัวเป็นเม็ดละเอียดในน้ำ ใช้ใส่น้ำมันสบู่
สารหล่อลื่นที่เป็นของแข็ง (Solid lubricants)	<ul style="list-style-type: none"> - Graphite - Molybdenum disulfide 	ใช้เพิ่มคุณสมบัติในการหล่อ ลื่นในสภาวะอุณหภูมิสูงมาก และภาวะน้ำหนักกระแทก
สี (Dyes)	<ul style="list-style-type: none"> - Alkylated aniline dyes - Azo dyes - Anthraquinone dyes 	ใช้เติมเพื่อให้น้ำมันหล่อลื่น และจารบีมีสีตามต้องการเพื่อ สังเกตแยกชนิดได้
สารช่วยชะล้างทำความสะอาด (Detergents)	<ul style="list-style-type: none"> - Sulfonate - Phenate - Phosphonate - Salicylate 	เป็นสารที่ทำหน้าที่ป้องกันการ รวมตัวของคราบตะกอนที่ เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์

3.1 การผลิตน้ำมันพืชภายในประเทศ

ในระยะเวลาที่ผ่านมาผลผลิตน้ำมันพืชในประเทศไทยมักไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการผลิตไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ ทำให้ผลผลิตที่ได้มีน้อย ต่อมาได้มีการนำเอาเครื่องจักรมาช่วยในการผลิตทำให้สามารถผลิตน้ำมันพืชได้มากขึ้น สำหรับผลผลิตของน้ำมันพืชจากรายที่ 3 พบว่าในปี พศ.2524 มีทั้งสิ้น 100,500 เมตริกตัน ผลผลิตที่เพิ่มมากที่สุดได้แก่ น้ำมันปาล์ม รองลงมาได้แก่ น้ำมันละหุ่ง น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว

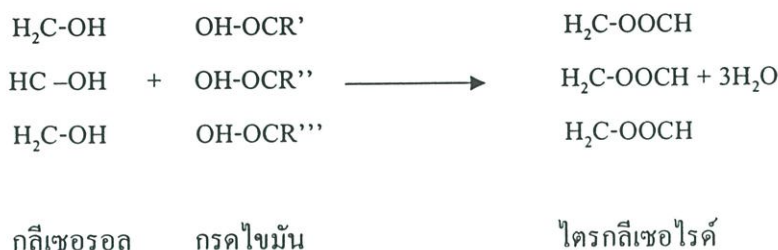
ตารางที่ 3.1 แสดงผลผลิตของน้ำมันพืช (หน่วย:เมตริกตัน)

ชนิดของน้ำมันพืช	ผลผลิต*		
	2522	2523	2524
น้ำมันมะพร้าว	14,965	19,000	14,000
น้ำมันถั่วลิสง	3,028	14,000	12,000
น้ำมันรำข้าว	10,288	16,500	14,000
น้ำมันถั่วเหลือง	6,104	13,200	11,000
น้ำมันเมล็ดนุ่น	1,979	6,200	5,000
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	5,455	3,000	2,500
น้ำมันปาล์ม	12,000	16,000	20,000
น้ำมันละหุ่ง	2,704	13,000	17,000
อื่นๆ	4,000	5,500	5,000
รวม/เฉลี่ย	60,523	106,400	100,000

*ที่มา : ฝ่ายวิชาการ ธนาคารแห่งประเทศไทย

3.2 องค์ประกอบของน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์

น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์เป็นสารอินทรีย์จำพวกหนึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) เป็นส่วนใหญ่ และ โคลเลสเตอรอล (Cholesterol) เป็นส่วนน้อย โคลเลสเตอรอล เป็นไขมันที่ไม่มีในพืช มีแต่ในสัตว์ ได้แก่ สมอง ไข่แดง หอย กุ้ง ปู เนย เครื่องในสัตว์ ไตรกลีเซอไรด์ เป็นไขมันที่ประกอบด้วยกรดไขมัน (Fatty acid) และ กลีเซอรอล(glycerol)



เมื่อ R', R'', R''' = โข่ของกรดไขมัน

3.3 ประเภทของกรดไขมัน

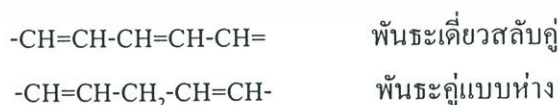
กรดไขมันเป็นสารซึ่งประกอบด้วยหมู่คาร์บอกซิล(carboxyl group) ต่ออยู่กับโซ่ไฮโดรคาร์บอน(hydrocarbon chain) ในโมเลกุลของกรดไขมันอาจมีการจับกันระหว่างธาตุของคาร์บอนทั้ง 1 บอนด์ และ 2 บอนด์ โดยพวกที่มี 1 บอนด์ จะเป็นกรดไขมันอิ่มตัว(saturated) พวกที่มี 2 บอนด์ จะเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (unsaturated)

3.3.1 กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acids)

กรดไขมันอิ่มตัวเป็นกรดไขมันที่ไม่มีพันธะคู่(double bond) อยู่ในโครงสร้าง ซึ่งคาร์บอนแต่ละตัวบนสายโซ่จะต่ออยู่กับไฮโดรเจนอย่างน้อย 2 ตัว หากในน้ำมันพืชมีกรดไขมันอิ่มตัวอยู่มากจะทำให้ น้ำมันพืชนั้นเป็นไขมัน ตัวอย่างของกรดไขมันอิ่มตัวนี้ได้แก่ กรดสเตียริก(Stearic acid) กรดปาล์มมิติก(Palmitic acid) กรดลอริก(Lauric) และ กรดไมริสติก(Myristic) เป็นต้น โครงสร้างของกรดไขมันเหล่านี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

3.3.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids)

กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่โซ่ไฮโดรคาร์บอนจะประกอบด้วยพันธะคู่ตั้งแต่ 1 คู่พันธะขึ้นไป ซึ่งตำแหน่งของพันธะคู่ของกรดไขมันแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันออกไป โดยถ้ามีพันธะเดี่ยวขึ้นอยู่ระหว่างพันธะคู่จะเรียกพันธะแบบนี้ว่าพันธะเดี่ยวสลับคู่ (conjugate double bond) ดังแสดงเป็นตัวอย่างดังนี้



ตารางที่ 3.2 แสดงโครงสร้างของกรดไขมันชนิดต่างๆ

ชื่อของกรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน	สูตรโครงสร้าง
กรดลอริก(Lauric)	C12	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{COOH}$
กรดไมริสติก(Myristic)	C14	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}-\text{COOH}$
กรดปาล์มมิติก(Palmitic)	C16	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$
กรดสเตียริก(Stearic)	C18	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$
กรดโอเลอิก(Oleic)	C18:1	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$
กรดลิโนลีนิก(Linoleic)	C18:2	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$
กรดลิโนลีนิก(Linolenic)	C18:3	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$

ตารางที่ 3.3 ชนิดของกรดไขมันในน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์

No. of carbon atoms	Name of acid	Coconut oil	Palm kernel oil	Palm oil	Cotton-seed oil	Rape-seed oil	Tallow (beef)	Tallow (mutton)	Lard	Soybean oil
Saturated Acids										
12	Lauric	44-51	47-52							
14	Myristic	13-19	14-18	0.5-3	1	1	3-6	4-10	1-2	1
16	Palmitic	8-11	7-9	32-45	26-34	1-5	23-37	24-38	20-31	10
18	Stearic	1-3	1-3	4-7	3-5	1-3	14-29	15-30	16-24	2
	Total (typical)	92	81	40-50	26-35	3-8	50-55	52-57	35-40	13
Unsaturated Acids										
Monounsaturated										
18	Oleic	5-8	14-19	38-53	19-26	14-38	26-50	36-48	38-44	29
Diunsaturated										
18	Linoleic	10-25	0.5-2	6-12	37-50	10-22	1-3		4-9	51
Triunsaturated										
18	Linolenic					8-12			1-2	7
	Total (typical)	8	79	50-60	60-70	92-97	44-52	40-50	60-65	87

ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในน้ำมันชนิดต่างๆ

ชนิดของน้ำมัน	ไขมันอิ่มตัว (%)	ไขมันไม่อิ่มตัว (%)
น้ำมันดอกคำฝอย	8	72
น้ำมันดอกทานตะวัน	12	63
น้ำมันข้าวโพด	10	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

น้ำมันถั่วเหลือง	15	52
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	25	50
น้ำมันถั่วลิสง	20	26
น้ำมันมะพร้าว	86	0
น้ำมันไก่	23	24
น้ำมันหมู	40	12
เนยเหลว	45	3
ไขมันวัว	48	2
ไข่แดง	32	7

3.4 กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันพืช (Oxidation Mechanisms)

น้ำมันพืช และน้ำมันสัตว์เป็นสารประกอบอินทรีย์(organic compound) สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาอาจเป็นการเกิดปฏิกิริยาแบบลูกโซ่(chain reaction) ซึ่งจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

1 ขั้นเริ่มต้น (initial) เป็นขั้นตอนที่มีการเกิดอนุมูลอิสระ หรือที่เรียกว่า radical chain reaction



เมื่อ RH คือ กรดไขมัน

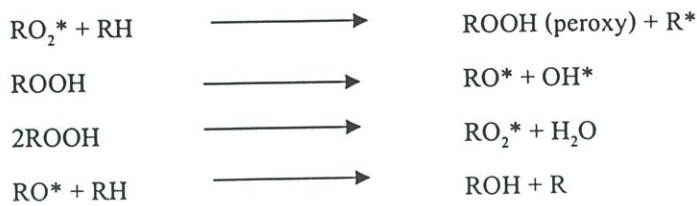
R* คือ alkyl radical

RO₂* คือ alkylperoxy radical

2 ขั้นแพร่กระจาย (Propagation) เป็นขั้นตอนที่อนุมูลอิสระ หรือ free radical จับกับโมเลกุลของออกซิเจนเกิดเป็น เปอร์ออกซิอิสระ (peroxy radical) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของกรดไขมัน (RH) เพื่อเกิดเป็นเปอร์ออกไซด์และอนุมูลอิสระตัวใหม่(R*) ซึ่งสามารถจับโมเลกุลของออกซิเจน ในอากาศได้อีก ปฏิกิริยาจะดำเนินเรื่อยๆต่อไปอีกจนกว่า ออกซิเจนหรือ RH จะหมดไป ส่วนสารเปอร์ออกไซด์ที่ได้จะเป็นสารที่ไม่เสถียรซึ่งจะสลายตัวได้ง่าย สารเปอร์ออกไซด์เหล่านี้จะเป็นตัวทำให้เกิดตะกอนหรือยางเหนียวในน้ำมันพืช



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3 ขั้นสิ้นสุด (Terminal) ของปฏิกิริยา เป็นขั้นที่อนุมูลอิสระ หรือ free radical เข้าทำปฏิกิริยากันเอง ได้สารที่ไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยา (nonradical products) ซึ่งเกิดจาก

3.1 อนุมูลอิสระของ peroxy radicals (RO_2^*) เข้าทำปฏิกิริยากันเองดังนี้



3.2 เกิดการ cross terminal ของ alkyl radical (R^*) กับ peroxy radical (RO_2^*) ดังนี้



3.3 เกิดการทำปฏิกิริยากันเองของ alkyl radical (R^*) ด้วยกันเองดังนี้



3.5 สารต้านทานการเกิดออกซิเดชันในน้ำมัน

จากที่กล่าวมาข้างต้นว่า น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์เป็นสารประกอบอินทรีย์ จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย โดยเฉพาะถ้าในน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในโมเลกุลมาก จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ดังนั้นจึงได้มีการพยายามหาสารที่จะมาช่วยยับยั้งหรือ หน่วงให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ช้าลง หรือไม่เกิดขึ้นเลย

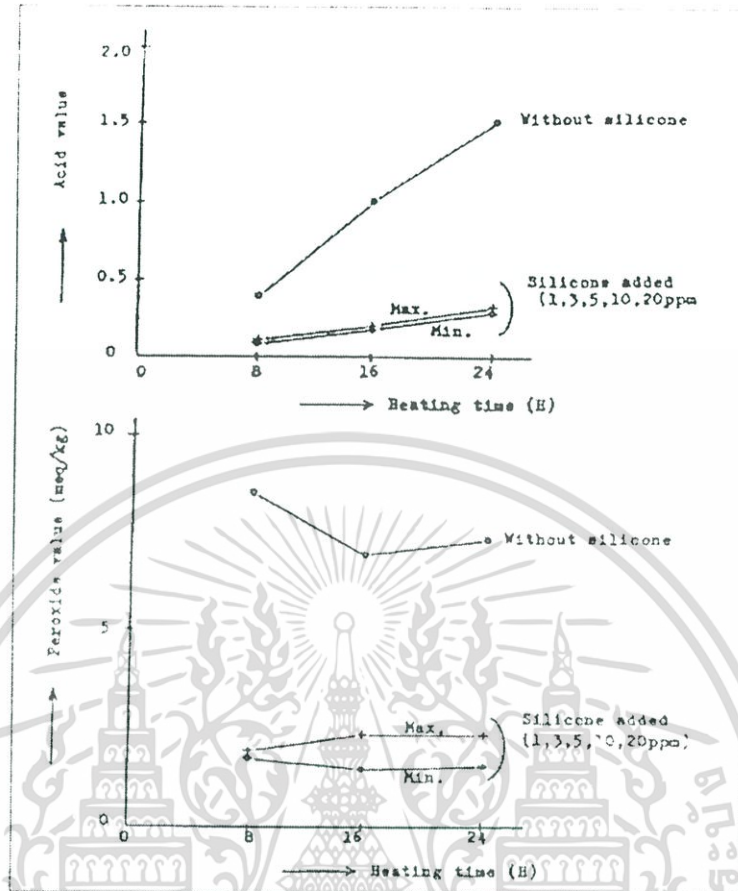
โดยปกติแล้วน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ จะมีสารต้านทานการเกิดออกซิเดชันอยู่ในโมเลกุลด้วย เช่นสารโทโคฟีรอล (Tocopherol) และอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งในน้ำมันแต่ละชนิดก็จะมีปริมาณของสารมากน้อยไม่เท่ากันดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณของสารโทโคฟีรอลในน้ำมันชนิดต่างๆ

	Tocopherols (mg/kg)					α -T ₁	γ -T ₁
	α -T	β -T	γ -T	δ -T	Total		
Anchovy					60		
Capelin					45		
Cocoa butter	11		170	17		2	
Coconut				4		20	
Corn	134	18	412	39			
Cottonseed	573	40	317	10			
Ground nut	169	5	144	13			
Lard	7					2	
Menhaden					30		
Olive	93		7				
Palm	279		61			274	398
Rape	70	16	178	7			
Safflower	477		44	10			
Sesame	12	6	244	32			
Soyabean	116	34	737	275			
Sunflower	608	17	11				

สารต้านทานการเกิดออกซิเดชันที่มีอยู่ในน้ำมันนั้นอาจถูกทำลาย หรือสูญเสียไประหว่างขั้นตอนกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงได้ทำการเติมสารต้านทานการเกิดออกซิเดชันเพิ่มเข้าไปในน้ำมันด้วย สารที่เติมเข้าไปจะยับยั้ง หรือเข้าไปหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่(chain reaction) ซึ่งอาจเป็นขั้นตอนเริ่มต้น(initial) หรือในขั้นตอนการแพร่กระจาย(propagation) ก็ได้ ขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของสารต้านทานการเกิดออกซิเดชันนั้น สารต้านทานการเกิดออกซิเดชันกับอากาศมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดก็มีโครงสร้างแตกต่างกันออกไป ในรูปที่ 3.1 เป็นการแสดงผลของการใช้น้ำมันซิลิโคน (silicone) เป็นสารต้านทานการเกิดออกซิเดชันใส่ลงในน้ำมันปาล์ม [5] จากรูปจะเห็นว่าค่าของกรด และค่าเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ไม่ได้ใส่สารซิลิโคนลงไป และจากการวิจัยของ Freeman [10] พบว่าการผสมน้ำมันซิลิโคนลงไป ในน้ำมันพืช สามารถป้องกันการเกิดฟองได้ด้วย ซึ่งโดยปกติจะใช้ในปริมาณน้อยโดยประมาณ 1-2 ppm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงผลของการใส่สารต้านทานการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันปาล์ม

3.6 การดูดซับของน้ำมันกับโลหะ

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าน้ำมันพืชจะประกอบไปด้วยโมเลกุลของกรดไขมัน (fatty acid) ซึ่งจะประกอบไปด้วยหมู่ที่มีขั้ว (polar group) ซึ่งก็คือส่วนของ $-\text{COOH}$ และหมู่ที่ไม่มีขั้ว (non-polar group) คือส่วนของ $-\text{CH}_2$ ซึ่งการมีขั้วของกรดไขมันในน้ำมันพืชนี้จะมีผลอย่างมากต่อกลไกการยึดเกาะของกรดไขมันกับผิวของโลหะ กลไกการยึดเกาะของกรดไขมันนี้เราเรียกว่า การดูดซับ (adsorption) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบดังนี้

1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption หรือ Physisorption)

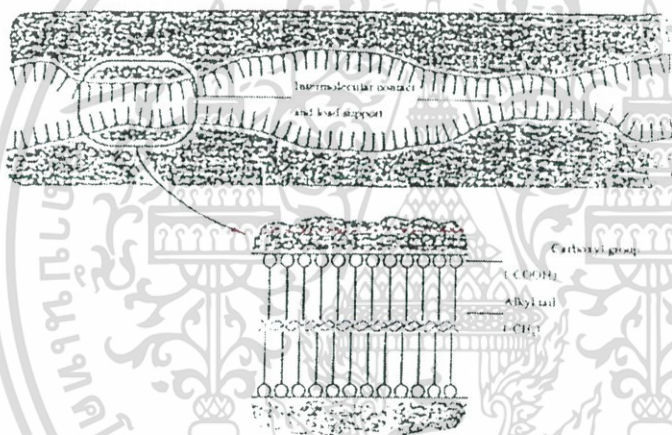
การดูดซับทางกายภาพของกรดไขมันบนผิวโลหะนี้ เกิดจากการที่หมู่ที่มีขั้ว ($-\text{COOH}$) หันเข้าหาผิวโลหะอันเนื่องมาจากแรงดึงดูดทางฟิสิกส์ หรือที่เรียกกันว่าแรงวานเดอร์วาลส์ (van der Waals) ในขณะที่เดียวกันก็จะเอาส่วนที่ไม่มีขั้ว ($-\text{CH}_2$) หันเข้าหาส่วนที่ไม่มีขั้วของโมเลกุลพวกเดียวกัน ทำให้เกิดการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบของโมเลกุลของกรดไขมันตลอดพื้นผิวโลหะ ดัง

แสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งความสามารถในการดูดซับทางกายภาพนี้จะขึ้นอยู่กับขั้ว(polar) โมเลกุลของกรดไขมันชนิดนั้นๆด้วย

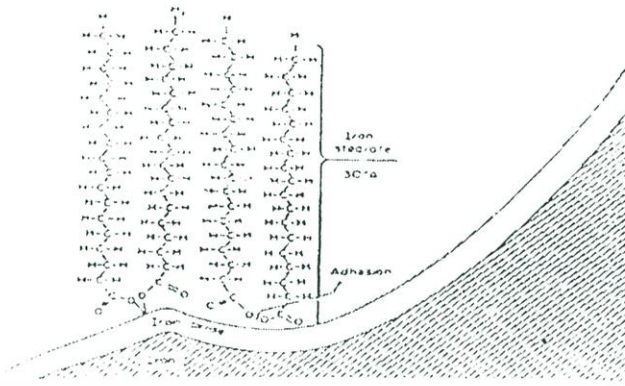
2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption หรือ Chemisorption)

การดูดซับทางเคมีของกรดไขมันบนผิวโลหะนี้ เกิดจากการทำปฏิกิริยากันของกรดไขมันกับโลหะ ซึ่งจะได้สารประกอบของโลหะ หรือที่เรียกว่าออกไซด์ ยกตัวอย่างเช่น การเกิดปฏิกิริยากันของกรดสเตียริก (Stearic) กับโลหะที่เป็นเหล็ก จะก่อให้เกิดสารประกอบของโลหะที่เรียกว่าเหล็กสเตียเรท (iron stearate) และสบู่ของโลหะ หรือเหล็กออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งจะเห็นว่า การดูดซับทางเคมีนี้จะทำให้เกิดการสร้างชั้นของสบู่โลหะซึ่งจะก่อตัวเป็นชั้นบางๆ (surface layer) ล้อมรอบผิวโลหะนั้นไว้

การดูดซับทางเคมีนี้อาจมีการสร้างชั้นสบู่ของกรดไขมันบนผิวโลหะขึ้น ซึ่งจากรูปที่ 3.4 ได้แสดงให้เห็นว่า การดูดซับทางเคมีนี้จะมีการสร้างชั้นสบู่ของกรดไขมันบนผิวโลหะ ซึ่งจะก่อตัวเป็นชั้นบางๆตลอดรอบพื้นผิวของโลหะ



รูปที่ 3.2 การดูดซับทางกายภาพของกรดไขมันบนผิวโลหะ



รูปที่ 3.3 การดูดซับทางเคมีของกรดไขมันบนผิวโลหะ



รูปที่ 3.4 การสร้างชั้นของสบู่ของกรดไขมันบนผิวโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

รีโอยี (Rheology)

4.1 ความหมายของรีโอยี

รีโอยีเป็นวิชาเกี่ยวกับการไหลโดยมีตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องอันได้แก่ ความเค้นเฉือน อัตราความเครียดเฉือน และความหนืดเป็นต้น

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือน อัตราความเครียดเฉือน และความหนืด

เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเครียดเฉือน และความเค้นเฉือนแล้ว สามารถแบ่งของไหลออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1 ของไหลนิวโตเนียน(Newtonian Fluid)

เราจะเรียกของไหลที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนเป็นสัดส่วนโดยตรง หรือเป็นเชิงเส้นกับอัตราความเครียดเฉือนว่าของไหลนิวโตเนียน ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (4.1)$$

สมการที่ (4.1) เรียกว่ากฎของนิวตันสำหรับความหนืด (Newton's Law of Viscosity) โดยที่ τ คือความเค้นเฉือน (Shear Stress) และ du/dy คือ อัตราความเครียดเฉือน (Shear Strain Rate) ส่วน μ คือค่าความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute Viscosity) ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปของความหนาแน่น ρ และความหนืดจลน์ ν ได้ดังนี้

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (4.2)$$

2 ของไหลนอนนิวโตเนียน (Non-Newtonian Fluid)

ของไหลนอนนิวโตเนียนจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราความเครียดเฉือนไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปสมการต่างๆ ได้ดังนี้

$$\tau = m \left(\frac{du}{dy} \right)^n \quad (4.3)$$

$$\tau + k\tau^3 = \mu \frac{du}{dy} \quad (4.4)$$

$$\tau = \tau_y + \mu_p \frac{du}{dy} \quad (4.5)$$

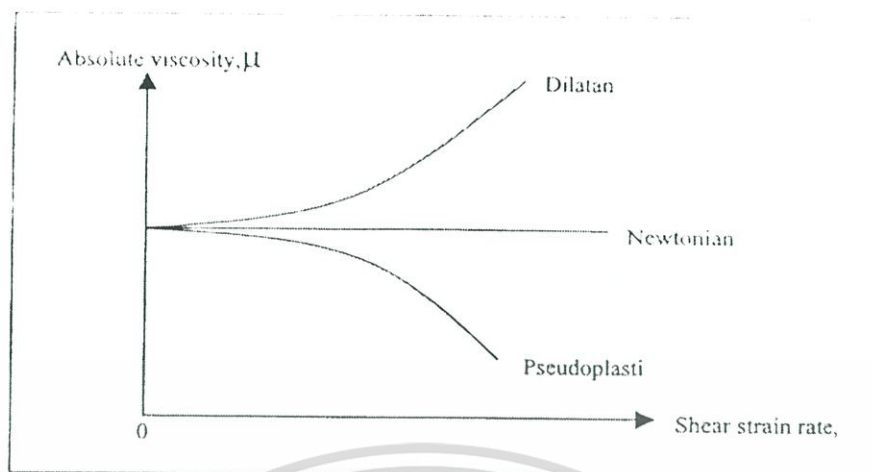
ในสมการที่ (4.3) ถ้า $n=1$ ของไหลนั้นจะเป็นของไหลนิวโตเนียน และถ้า $n>1$ ของไหลนั้นจะเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดไดลาแทนท์ (Dilatant) ถ้า $n<1$ ของไหลนั้นจะเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก (Pseudoplastic) หรือถ้า $k<0$ ของไหลนั้นจะเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดไดลาแทนท์ (Dilatant)

สำหรับสมการที่ (4.5) เราเรียกของไหลชนิดนี้ว่าของไหลพลาสติกบิงแฮม ซึ่งจะมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นเฉือนกับอัตราความเครียดเฉือน เป็นแบบเชิงเส้นเหมือนกับของไหลนิวโตเนียนแต่จะต่างกับสารหล่อลื่นนิวโตเนียนตรงที่ค่าความเค้นเฉือนเริ่มต้นของของไหลไม่เริ่มต้นที่ศูนย์ ซึ่งเรียกค่าความเค้นเฉือนที่จุดเริ่มต้นนี้ว่าความเค้นเฉือนที่จุดคราก (Yield Point) τ_y โดยถ้า $\tau_y = 0$ จะมีคุณสมบัติเป็นสารหล่อลื่นชนิดนิวโตเนียน



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับอัตราความเครียดเฉือน

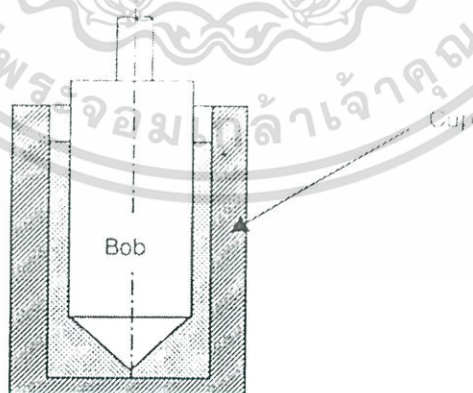
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดสัมบูรณ์กับอัตราความเครียดเฉือน

4.3 เครื่องมือวัดทางรีโอโลยี

เครื่องมือวัดทางรีโอโลยีที่ใช้กันในปัจจุบันมีอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งในการเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดนั้นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึง ได้แก่ ชนิดของของไหลที่จะนำมาทดสอบ ด้วยยกตัวอย่างเช่น หากต้องการใช้เครื่องมือวัดทางรีโอโลยีกับจารบี ควรที่จะใช้กับเครื่องวัดความหนืดแบบกรวยบนแผ่นระนาบ (Cone and Plate Viscometer) เป็นต้น เครื่องมือวัดทางรีโอโลยีที่ใช้กันส่วนใหญ่ได้แก่ เครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Rotational Viscometer)



รูปที่ 4.3 เครื่องมือวัดความหนืดแบบแกนหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Rotational Viscometer) นี้จะประกอบไปด้วย ทรงกระบอกสองอันที่มีรัศมีต่างกัน โดยทรงกระบอกอันในจะเป็นท่อทรงกระบอกตัน ที่หมุนอยู่ ภายในท่อทรงกระบอกกลวงซึ่งอยู่กับที่ ในการใช้งานจะใส่ของเหลวลงไประหว่างช่องว่างของท่อ ทรงกระบอกทั้งสอง เมื่อท่อทรงกระบอกอันในหมุนจะทำให้ของเหลวเครื่องที่ภายใต้ความเค้นเฉือน ที่เกิดจากการหมุนของทรงกระบอกอันใน และเกิดอัตราความเครียดเฉือนเกิดขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราความเครียดเฉือน สามารถอธิบายได้ด้วยเส้นกราฟแสดงการไหล (Flow Curve) ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ทฤษฎีการขึ้นรูปโลหะ

5.1 การขึ้นรูปโลหะ

การขึ้นรูปโลหะ คือการนำเอาชิ้นงานแท่งโลหะหรือแผ่นโลหะมาทำการเปลี่ยนรูปโดยให้แรงกระทำ แล้วทำให้เกิดความเค้นบนชิ้นงานในแนวแกนเดียวหรือหลายแนวแกน ในช่วงการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรของโลหะนั้นโดยที่ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง

การจำแนกประเภทของการขึ้นรูปโลหะตามความเค้นที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานแบ่งได้เป็น 5 ประเภท คือ

- 1 Compressive forming ชิ้นงานได้รับแรงกระทำแล้วทำให้เกิดความเค้นอัดบนชิ้นงานในแนวแกนเดียวหรือหลายแนวแกนในช่วงการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรของโลหะ
- 2 Tensile forming ชิ้นงานได้รับแรงกระทำแล้วทำให้เกิดความเค้นบนชิ้นงาน
- 3 Combine tensile and compressive forming ชิ้นงานได้รับแรงกระทำแล้วทำให้เกิดความเค้นดึงและความเค้นอัดบนชิ้นงาน
- 4 Forming by bend ชิ้นงานได้รับแรงกระทำแล้วทำให้เกิดความเค้นดึงและความเค้นอัดบนชิ้นงานเกิดขึ้นบนพื้นที่เดียวกัน
- 5 Forming by shearing ชิ้นงานได้รับภาวะแรงเฉือนกระทำแล้วทำให้เกิดความเค้นเฉือนในแนวแกนเดียวหรือหลายแนวแกนภายในช่วงการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรของโลหะ

5.2 Tribology Interaction

Tribology คือ ศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับพื้นผิวที่มีการสัมผัสกัน โดยที่มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กัน โดยจะศึกษาเกี่ยวกับแรงเสียดทาน สารหล่อลื่น และการสึกหกร่อนซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อที่จะลดแรงในส่วนที่ไม่จำเป็นออกไป

แรงเสียดทาน จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันระหว่างผิวหน้าแม่พิมพ์กับชิ้นงาน หรือเกิดจากความเร็วของแม่พิมพ์และชิ้นงานไม่เท่ากัน หรือเกิดจากการขึ้นรูปโลหะเอง เช่น simple upsetting หรือเกิดจากลักษณะทั้งสองข้างต้นพร้อมกัน

คำจำกัดความของแรงเสียดทาน Leonardo da vinci เป็นผู้ให้คำจำกัดความเป็นคนแรกซึ่งเขาได้กล่าวว่า Friction คือสิ่งที่ต้านการเคลื่อนที่ ต่อมา Amonton ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแรงเสียดทานและได้ตั้งกฎขึ้นมา 2 ข้อมีใจความดังนี้

- 1 แรงเสียดทานจะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับแรงในแนวตั้งฉาก
- 2 แรงเสียดทานจะไม่ขึ้นกับพื้นที่ผิวสัมผัส

แต่ในปัจจุบันพบว่ากฎข้อที่ 1 จะไม่เป็นจริงในกรณีที่ใช้แรงในแนวตั้งฉากสูงๆ เพราะถ้าให้แรงกดมากๆ ชิ้นงานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปซึ่งต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่ง ส่วนกฎข้อที่ 2 จะใช้ไม่ได้กับวัสดุที่ยืดหยุ่นได้ แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีผู้ใดสามารถตั้งกฎที่ดีกว่า Amonton กฎเหล่านี้จึงเป็นที่ยอมรับและใช้อยู่

5.3 การดึงขึ้นรูป (Drawing)

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการบีบขึ้นรูปมีดังนี้

1. ตัวแปรที่เกี่ยวกับการงอแล้วการทำให้ตรง (Bending and Straightening Variable)

ตัวแปรหลักที่ทำให้แรงที่ใช้ในการบีบขึ้นรูปเพิ่มขึ้นหรือลดลงเนื่องจากการงอแล้วทำให้ตรงคือ

1.1 รัศมีของพินช์ ซึ่งได้ถูกสร้างขึ้น บนแท่งพินช์ขนาดของรัศมีจะถูกกำหนดโดยวิศวกรทางการผลิตหรือวิศวกรออกแบบแม่พิมพ์ รัศมีของพินช์ที่ใช้ในการขึ้นรูปในครั้งสุดท้ายจะเป็นตัวกำหนดขนาดรัศมีของถ้วยที่ต้องการทำขึ้นมา รัศมีที่เล็กกว่าจะต้องใช้แรงในการงอสูงกว่า

1.2 รัศมีของคาน ซึ่งได้ถูกสร้างขึ้นมาบนแท่งคาน ขนาดของรัศมีจะถูกกำหนดโดยวิศวกรทางการผลิตหรือวิศวกรออกแบบแม่พิมพ์รัศมีที่เล็กกว่าจะต้องใช้แรงในการงอสูงกว่า

1.3 องศาการขึ้นรูป ตามปกติแล้วชิ้นงานจะถูกอัดขึ้นรูปเป็นมุม 90 องศา แต่อาจจะทำให้เล็กลงหรือเพิ่มขึ้น ได้โดยทำมุมที่ผิวหน้าของคานกับแนวระดับซึ่งตามปกติแล้ววิธีการแบบนี้ไม่นิยมใช้ในการขึ้นรูปถ้วย มุมของการงอที่ได้ทำที่รัศมีของคานน้อยกว่า 90 องศา จะทำให้แรงที่ใช้ลดลง ที่มุมนี้แผ่นชิ้นงาน ได้ถูกกดให้เป็นรูปร่างคล้ายจานโดยแผ่นยึดชิ้นงานก่อนที่พินช์จะเคลื่อนที่มาสัมผัส

2. ตัวแปรที่เกี่ยวกับความเสียดทาน (Friction Variable)

มีตัวแปรหลายอย่างที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงเสียดทานทั้งในรูปแบบของของความเสียดทานนิ่งและความเสียดทานเลื่อน ตัวแปรเหล่านี้จะทำให้แรงที่ใช้ปกติหรือสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานเปลี่ยนไป ซึ่งได้แก่

2.1 สารหล่อลื่น ซึ่งได้ถูกนำไปใช้ที่แผ่นชิ้นงาน หรือผิวหน้าของแม่พิมพ์ ก่อนที่จะมีการบีบขึ้นรูป สารหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติลื่นตัวได้ดีจะช่วยลดความเสียดทาน สารหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติต้านทานต่อความดันสูงได้ดีจะเป็นการเพิ่มความเสียดทาน

2.2 แรงของแผ่นยึดชิ้นงาน เป็นแรงที่เป็นสาเหตุให้ความเค้นตทานเพิ่มขึ้น จะระบุขนาดที่ใช้โดยผู้ออกแบบแม่พิมพ์

2.3 ความเรียบของผิวหน้าโลหะแผ่นที่นำมาใช้ขึ้นรูป ซึ่งจะระบุขนาดโดยผู้ออกแบบผลิตภัณฑ์ ถ้ากำหนดค่าความหยาบของผิวหน้าไว้เป็นค่าสูงจะทำให้เกิดแรงเค้นตทานมาก

2.4 ความเรียบของผิวหน้าของแม่พิมพ์ และแผ่นยึดชิ้นงาน ซึ่งได้ถูกกำหนดและเกิดขึ้นขณะที่สร้างแม่พิมพ์

3. ตัวแปรที่เกี่ยวกับการอัด (Compressive Variables)

ตัวแปรนี้มีผลถึงแรงที่ใช้ในการบีบ หรืออัดและเป็นการยากที่จะเข้าใจ การอัดที่ถูกต้องนั้นใช้เพื่อลดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของโลหะแผ่นโดยทำให้โลหะไหลตัวไปบนรัศมีของคาน ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการอัด คือ

1. เปอร์เซนต์การลดตัว (Percent of Reduction) ของเส้นผ่านศูนย์กลางหรือเส้นรอบรูป ซึ่งคำนวณได้จากการเปรียบเทียบขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นชิ้นงานและเส้นผ่านศูนย์กลางของพินซ์ ขนาดของเปอร์เซนต์นี้ได้ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ประมาณค่าปริมาณของการอัดที่จะต้องถูกกระทำ

2. ความลึกของการขึ้นรูป ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงการแปรเปลี่ยนของการอัดที่ต้องการ ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของถ้วยหลังจากการขึ้นรูปแล้วไม่ถูกทำให้เปลี่ยนแปลงขนาดอีก จะเห็นว่า ถ้วยที่มีความลึกกว่าต้องการแผ่นชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่มากกว่า ดังนั้นการบีบตัวที่ต้องใช้จะมีขนาดสูงกว่าในการบีบขึ้นรูปครั้งแรก (first draw) และการบีบขึ้นรูปครั้งต่อไป (redraw)

3. ความเหนียวของโลหะแผ่น หรือความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยปราศจากการแตก แม้ว่าความเหนียวคือการวัดคุณสมบัติภายใต้แรงดึงแต่มันก็ชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการอัดและการถูกตีขึ้นรูปด้วย ความเหนียวได้ถูกวัดโดยการทดสอบในการดึง (Tensile test) ในรูปเปอร์เซนต์รวมของการยืดหยุ่นตัว การยืดหยุ่นตัวในรูปแบบเดียวกัน และอัตราส่วนของการดึงต่อความแข็งแรงล้าตัว เนื่องจากความเหนียวเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุ ดังนั้นผู้ออกแบบแม่พิมพ์ควรระบุรายละเอียดของวัสดุที่ใช้

4. ความแข็งแรงล้าตัว เป็นจุดที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรของโลหะได้เกิดขึ้น ความแข็งแรงล้าตัวต่ำเป็นสิ่งที่ต้องการของกระบวนการบีบขึ้นรูปโลหะ เพราะจะทำให้การบีบขึ้นรูปเริ่มต้นขึ้นได้โดยไม่เกิดการรื้อกลับของโลหะที่บริเวณใกล้กับรัศมีของคาน

5. ความหนาของแผ่นชิ้นงานที่มีความสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางของมัน โดยจะส่งผลไปถึงแรงที่ใช้อัด แผ่นชิ้นงานที่หนากว่าเกือบจะไม่ทำให้เกิดการย่นตัวทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้แผ่นยึดชิ้นงานซึ่งเป็นการช่วยลดแรงเค้นตทานที่เกิดจากแผ่นชิ้นงานได้

5.4 สารหล่อลื่นในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะ

สารหล่อลื่นและสารประกอบที่ใช้ในการปั๊มขึ้นรูป (drawing compound) หลายชนิดได้ถูกนำมาทดลองใช้ ถ้าสารหล่อลื่นชนิดใดใช้แรงที่พ้นซ์ เพื่อปั๊มขึ้นรูปน้อยลงก็แสดงให้เห็นว่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นขณะนั้นน้อยด้วย คุณสมบัติของสารหล่อลื่นในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะควรประกอบด้วยคุณสมบัติต่างๆดังต่อไปนี้

- 1 ลดแรงเสียดทาน
- 2 ลดการสึกหลอของแม่พิมพ์
- 3 ช่วยระบายความร้อนระหว่างผิวชิ้นงานในการขึ้นรูปเย็น
- 4 ช่วยรักษาความร้อน ลดความร้อนที่สูญเสียในงานขึ้นรูปร้อน
- 5 ควบคุมผิวงานสำเร็จ
- 6 Reactivity กับผิวชิ้นงานหรือแม่พิมพ์
- 7 Control stability
- 8 สามารถใช้งานได้ง่าย ล้างออกได้ง่าย
- 9 ปลอดภัย ราคาถูก

5.5 หน้าที่ของส่วนสำคัญของแม่พิมพ์

1 กระบอกล็อกแม่พิมพ์

เวลาประกอบแม่พิมพ์ส่วนบนเข้ากับเครื่องอัด ทำโดยเอาค้ำมชุบยัดแม่พิมพ์สวมเข้าไปที่ก้านกระบอกล็อกของเครื่องและยึดแน่น กระบอกล็อกแม่พิมพ์จะต้องสวมเข้าพอดีกับก้านกระบอกล็อกของเครื่อง

วิธีการยึดกระบอกล็อกแม่พิมพ์เข้ากับก้านกระบอกล็อกมีดังต่อไปนี้

- 1.1 ทำการคว้านกระบอกล็อกแม่พิมพ์ทั้งหัวท้ายให้ ได้ขนาดตามก้านกระบอกล็อกและค้ำมคาย
- 1.2 ทำเป็นเกลียวยึดติดกับก้านกระบอกล็อกและแม่พิมพ์

2 แผ่นพ้นซ์ (Punch plate)

แผ่นพ้นซ์ใช้เป็นตัวยึดพ้นซ์ให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการ พ้นซ์ที่มีรูปร่างอ่อนแอจะใช้วิธีอัดแน่นกับรูที่แผ่นพ้นซ์ ถ้าเป็นพ้นซ์ขนาดใหญ่จะใช้ยึดให้แน่นด้วยสกรู และให้อยู่ในตำแหน่งโดยใช้สลัก (dowelpin) สองตัว

3 พ้นซ์ (Punch)

เนื่องจากงานอัดโลหะแผ่นซึ่งกระทำโดยพ้นซ์และคาย พ้นซ์ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่ง พ้นซ์จะต้องทำการชุบแข็งเพื่อรักษารูปร่าง ขนาด ความคม และมนমানต่อการสึกหลอ ในงานอัด

โลหะ พันซ์จะต้องรับแรงกระแทกขนาดหนักและซ้ำกันเป็นเวลานานเช่น พันซ์ตัดแผ่นเปล่าซึ่งอาจหักหรือคดได้ ฉะนั้นจึงทำด้วยเหล็กคุณภาพสูงซึ่งทนต่อการสึกหรอ ไม่หักหรืองอได้ง่ายเนื่องจากความหยาบของผิวหน้าพันซ์จะมีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานโดยตรง ฉะนั้นจึงต้องตกแต่งผิวหน้าของพันซ์ให้เรียบ

4 คาย (Die)

คายเป็นคุณสมบัติเช่นเดียวกับพันซ์ คือมีความแข็งและทนต่อการสึกหรอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ทฤษฎีการหล่อลื่น

สมการเรโนลด์เป็นสมการหลักในวิชาการหล่อลื่น ใช้อธิบายการเกิดแรงดันของของไหล
ข้อสมมุติในการเขียนสมการเรโนลด์มีดังนี้

- 1 ไม่คิดแรงภายนอกที่กระทำต่อสารหล่อลื่น
- 2 แรงดันที่เกิดขึ้นในของไหลหรือสารหล่อลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามแกนความหนาของ
ของไหล
- 3 การไหลของสารหล่อลื่นถูกสมมุติว่าเป็นการไหลในแนวแกนตรง
- 4 ไม่เกิดการลื่นไถลของสารหล่อลื่น
- 5 สารหล่อลื่นมีคุณสมบัติเป็นของไหลแบบนิวโตเนียน
- 6 การไหลของสารหล่อลื่นเป็นการไหลอย่างเป็นระเบียบ หรือการไหลแบบลามิน่า
- 7 ไม่คิดแรงเฉื่อยของสารหล่อลื่น
- 8 ความหนืดของสารหล่อลื่นมีค่าคงที่

สมการเรโนลด์ได้มาจากสมการ Navier-stokes และ สมการ Continuity
จากสมการ Navier-stokes

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (6.1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (6.2)$$

เมื่ออินทิเกรตจะได้

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{z}{\eta} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{A}{\eta} \quad (6.3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} = \frac{z}{\eta} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{C}{\eta} \quad (6.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ A และ C เป็นค่าคงที่ของการอินทิเกรต

เมื่ออินทิเกรตอีกครั้ง

$$u = \frac{z^2}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial x} + A \frac{z}{\eta} + B \quad (6.5)$$

$$v = \frac{z^2}{2\eta} \frac{\partial p}{\partial y} + C \frac{z}{\eta} + D \quad (6.6)$$

สมมุติว่าไม่เกิดการลื่นไถลและกำหนดเงื่อนไขเป็น

$$\begin{aligned} 1. z=0, u=u_b, v=v_b \\ 2. z=h, u=u_a, v=v_a \end{aligned} \quad (6.7)$$

เมื่อตัวแปร a และ b หมายถึงด้านบนและด้านล่างของพื้นผิวตามลำดับ u_a, v_a, w_a หมายถึงส่วนประกอบของความเร็วของพื้นผิวด้านบนในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ และ u_b, v_b, w_b หมายถึงส่วนประกอบของความเร็วของพื้นผิวด้านล่างในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ จากสมการที่กล่าวมาจะได้

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \left(\frac{2z-h}{2\eta} \right) \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{u_b - u_a}{h} \quad (6.8)$$

$$\frac{\partial v}{\partial z} = \left(\frac{2z-h}{2\eta} \right) \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{v_b - v_a}{h} \quad (6.9)$$

$$u = -z \left(\frac{h-z}{2\eta} \right) \frac{\partial p}{\partial x} + u_b \frac{h-z}{h} + u_a \frac{z}{h} \quad (6.10)$$

$$v = -z \left(\frac{h-z}{2\eta} \right) \frac{\partial p}{\partial y} + v_b \frac{h-z}{h} + v_a \frac{z}{h} \quad (6.11)$$

ค่าความเค้นเฉือน

$$\tau_{zx} = \eta \frac{\partial u}{\partial z} \quad (6.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tau_{zy} = \eta \frac{\partial v}{\partial z} \quad (6.13)$$

เมื่อใช้สมการ (6.8) และ(6.9) จะได้ค่าความเค้นเฉือน

$$(\tau_{zx})_{z=0} = \left(\eta \frac{\partial u}{\partial z} \right)_{z=0} = -\frac{h}{2} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\eta(u_b - u_a)}{h} \quad (6.14)$$

$$(-\tau_{zx})_{z=h} = -\left(\eta \frac{\partial u}{\partial z} \right)_{z=h} = -\frac{h}{2} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\eta(u_b - u_a)}{h} \quad (6.15)$$

$$(\tau_{zy})_{z=0} = \left(\eta \frac{\partial v}{\partial z} \right)_{z=0} = -\frac{h}{2} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\eta(v_b - v_a)}{h} \quad (6.16)$$

$$(-\tau_{zy})_{z=h} = -\left(\eta \frac{\partial v}{\partial z} \right)_{z=h} = -\frac{h}{2} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\eta(v_b - v_a)}{h} \quad (6.17)$$

อัตราการไหลหาได้จาก

$$q_x = \int_0^h u dz \quad (6.18)$$

$$q_y = \int_0^h v dz \quad (6.19)$$

เมื่อแทนค่าสมการ (6.10) และ (6.11) จะได้อัตราการไหล

$$q_x = -\frac{h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{u_a + u_b}{2} h \quad (6.20)$$

$$q_y = -\frac{h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{v_a + v_b}{2} h \quad (6.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ continuity ในรูปของอินทิกรัล

$$\int_0^h \left[\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) \right] dz = 0 \quad (6.22)$$

เขียนได้ว่า

$$\int_0^h \frac{\partial}{\partial x} [f(x, y, z)] dz = -f(x, y, h) \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\int_0^h f(x, y, z) dz \right] \quad (6.23)$$

สำหรับส่วนประกอบความเร็วในแนวแกน x

$$\int_0^h \frac{\partial}{\partial x} [\rho u] dz = -(\rho u)_{z=h} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\int_0^h (\rho u) dz \right] = -\rho u_a \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \int_0^h u dz \right) \quad (6.24)$$

สำหรับส่วนประกอบความเร็วในแนวแกน y

$$\int_0^h \frac{\partial}{\partial y} [\rho v] dz = -\rho v_a \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \int_0^h v dz \right) \quad (6.25)$$

และสำหรับส่วนประกอบความเร็วในแนวแกน z

$$\int_0^h \frac{\partial}{\partial z} [\rho w] dz = \rho(w_a - w_b) \quad (6.26)$$

ดังนั้นสมการ continuity จะเป็น

$$h \frac{\partial \rho}{\partial t} - \rho u_a \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho \int_0^h u dz \right) - \rho v_a \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \int_0^h v dz \right) + \rho(w_a - w_b) = 0 \quad (6.27)$$

จะได้สมการเรโนลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
0 &= \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(-\frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \right) \\
&= \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h(u_a + u_b)}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h(v_a + v_b)}{2} \right) + \rho(w_a - w_b) - \rho u_a \frac{\partial h}{\partial x} - \rho v_a \frac{\partial h}{\partial y} + h \frac{\partial \rho}{\partial t}
\end{aligned} \tag{6.28}$$

สามารถเขียนสมการเรโนลด์ได้ว่า

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h(u_a + u_b)}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h(v_a + v_b)}{2} \right) + \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} \tag{6.29}$$

โดยที่

$$\rho(w_a - w_b) - \rho u_a \frac{\partial h}{\partial x} - \rho v_a \frac{\partial h}{\partial y} + h \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} \tag{6.30}$$

ความดันที่เกิดขึ้นสามารถพบได้ในช่องไหลที่อยู่ระหว่างพื้นผิวสองพื้นผิว และเมื่อพื้นผิวเคลื่อนที่ก็จะเกิดความดันขึ้น การที่พื้นผิวนั้นเคลื่อนที่เข้าหากันทำให้เกิดฟิล์มน้ำมันระหว่างพื้นผิวทั้งสอง การคำนวณถึงการกระจายแรงดันที่เกิดขึ้นในฟิล์มสารหล่อลื่น เมื่อการหล่อลื่นเป็นแบบไฮโดรไดนามิกส์ สามารถวิเคราะห์ได้จากสมการเรโนลด์ (6.29) ดังที่กล่าวมาแล้ว และเนื่องจากเป็นการบีบขึ้นรูปโลหะ สมการเรโนลด์ที่เกิดขึ้นจะเป็นกรณีการเคลื่อนที่ที่ถูกจำกัดและการเลื่อนไหลเป็นศูนย์ หรือ squeeze film ($u_a = u_b = v_a = v_b = 0$) สมการเรโนลด์ที่ได้จะเป็น

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\rho h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial y} \right) = \frac{\partial(\rho h)}{\partial t} \tag{6.31}$$

และเมื่อให้ความหนาแน่นและความหนืดคงที่

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial y} \right) = 12\eta \frac{\partial h}{\partial t} = -12\eta w \tag{6.32}$$

โดยที่ $w = -\frac{\partial h}{\partial t}$ โดยเป็น ความเร็วในการกดอัด (squeeze velocity)

เมื่อวิเคราะห์ในแนวแกนระนาบไม่คิดการไหลออกทางด้านข้าง (side leakage) จะได้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) = 12\eta \frac{\partial h}{\partial t} \quad (6.33)$$

เมื่อคิดว่าพื้นที่ผิวสัมผัสมีความหยาบ

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\phi_x \frac{h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) = \frac{\partial h}{\partial t} \quad (6.34)$$

โดยที่ค่าความหยาบของพื้นผิว

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (6.35)$$

เมื่อ มีค่า pressure flow factor

$$\phi_x = 1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\sigma}{h} \right)^2 \quad (6.36)$$

เมื่อแทนค่าสมการ(6.35) และ (6.36) ลงในสมการที่ (6.34)จะได้สมการเรโนลด์ที่มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\left(1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\sigma}{h} \right)^2 \right) \frac{h^3}{12\eta} \frac{\partial p}{\partial x} \right) = \frac{\partial h}{\partial t} \quad (6.37)$$

เมื่อคิดว่าของไหลเป็นแบบ นอน-นิวโตเนียน จะมีความเค้นเฉือน

$$\tau_{zx} = m \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^{n-1} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (6.38)$$

$$\tau_{zy} = m \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^{n-1} \frac{\partial v}{\partial z} \quad (6.39)$$

ความหนืดของของไหลเขียนได้ว่า

$$\eta = m(I) \quad (6.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$$I = \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \quad (6.41)$$

โมเดลทางคณิตศาสตร์ของสมการเพาเวอร์ลอเขียนได้ว่า

$$\mu = m \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]^{\frac{n-1}{2}} \quad (6.42)$$

จากสมการนาเวียร์ (Navier equation)

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (6.43)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\eta \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (6.44)$$

เมื่อแทนค่าจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ของสมการเพาเวอร์ลอ (6.42) และสมการนาเวียร์ (Navier equation) (6.43) ลงในสมการเรโนลด์ที่มีความสัมพันธ์แบบเป็นการบีบขึ้นรูปโลหะ สมการเรโนลด์ที่เกิดขึ้นจะเป็นกรณีการเคลื่อนที่ที่ถูกจำกัดและการดันไหลเป็นศูนย์ หรือ squeeze film ($u_x = u_y = v_x = v_y = 0$) สมการเรโนลด์ที่ได้จะเป็น

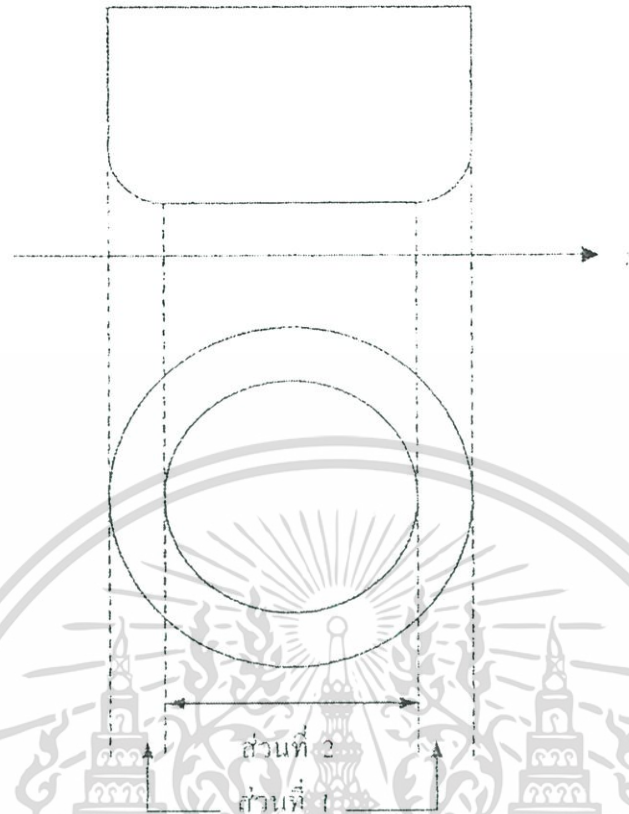
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\left(1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\sigma}{h} \right)^2 \right) \frac{h^{n+2}}{12mn} \frac{\partial p}{\partial x} \right) = \frac{\partial}{\partial t} (h)^n = -(w)^n \quad (6.45)$$

ถ้า $n=1$ ของไหลนั้นจะเป็นของไหลนิวโตเนียน และถ้า $n>1$ ของไหลนั้นจะเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดไดลาแตนท์ (Dilatant) ถ้า $n<1$ ของไหลนั้นจะเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก (Pseudoplastic)

กระจายแรงดันที่เกิดขึ้นในฟิล์มสารหล่อลื่น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

1. บริเวณส่วนโค้งด้านข้างของถ้วย
2. บริเวณแผ่นกลมแบนราบที่เป็นส่วนพื้นของถ้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



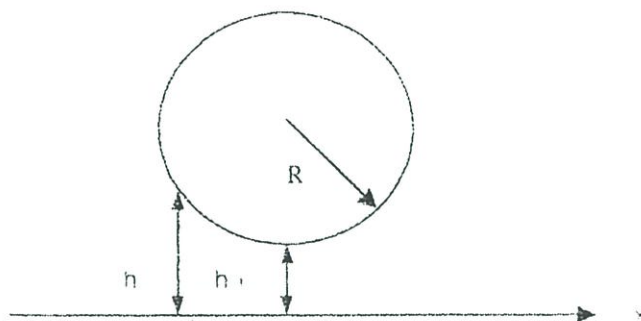
รูปที่ 6.1 แสดงรูปร่างและส่วนต่างๆของชิ้นงานที่ใช้ในการคำนวณ

1. บริเวณส่วนโค้งด้านข้างของถ้วย
สมการเรโนลด์ที่ใช้คือ

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\left(1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\sigma}{h} \right)^2 \right) h^{n+2} \frac{\partial p}{\partial x} \right) = 12mn \frac{\partial}{\partial t} (h)^n = -12mn (w)^n \quad (6.46)$$

ในบริเวณส่วนโค้งของการบีบขึ้นรูปโลหะความหนาฟิล์มน้ำมันจะกระจายออกตามพื้นผิวส่วนโค้ง
ดังรูปที่ 6.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงความหนาฟิล์มน้ำมันที่กระจายออกตามพื้นผิวส่วนโค้ง

ความหนาฟิล์มในบริเวณส่วนโค้งของการบีบขึ้นรูปโลหะน้ำมันจะกระจายออกตามพื้นผิวส่วนโค้งสามารถหาได้จากสมการ

$$h = h_0 + r - (r^2 - x^2)^{1/2} = h_0 + r - r \left[1 - \left(\frac{x}{r} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (6.47)$$

โดยที่เทอมสุดท้ายทางขวาสามารถเขียนได้ว่า

$$h = h_0 + r - r \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{r} \right)^2 + \frac{1}{8} \left(\frac{x}{r} \right)^4 - \frac{1}{16} \left(\frac{x}{r} \right)^6 + \dots \right] \quad (6.48)$$

หรือ

$$h = h_0 + \frac{1}{2} \left(\frac{x^2}{r} \right) \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{x}{r} \right)^2 + \frac{1}{8} \left(\frac{x}{r} \right)^4 + \dots \right] \quad (6.49)$$

โดยที่ขอบเขตการกระจายความหนาของฟิล์มสาร $x \ll r$ ดังนั้น $x^2/r^2 \ll 1$ ดังนั้นสมการที่ได้จะเป็นไปตามสมการ

$$h = h_0 + \frac{x^2}{2R} \quad (6.50)$$

เมื่อนำสมการ (6.50) แทนค่าลงใน (6.46) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\left(1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\sigma}{h_0 + \frac{x^2}{2R}} \right)^2 \right) \left(h_0 + \frac{x^2}{2R} \right)^{n+2} \frac{\partial p}{\partial x} \right) = 12mn \frac{\partial}{\partial t} \left(h_0 + \frac{x^2}{2R} \right)^n = -12mn (w)^n \quad (6.51)$$

2. บริเวณแผ่นกลมแบนราบที่เป็นส่วนพื้นของถ้วย

การคำนวณถึงการกระจายแรงดันที่เกิดขึ้นในฟิล์มสารหล่อลื่น เมื่อการหล่อลื่นเป็นแบบไฮโดรไดนามิกส์ สามารถวิเคราะห์ได้จากสมการเรโนลด์ ดังแสดงในรูปที่ 6.3 ถ้าพื้นผิวขนานแกนสมมาตรและความดันเป็นฟังก์ชันของรัศมีดังนั้นสมการเรโนลด์ที่ได้เมื่ออยู่ในพิกัดโพลา จากสมการที่ (6.2) จะเป็น

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\rho h^{n+2}}{12mn} r \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\rho h^{n+2}}{12mn} \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) = r \frac{\partial (\rho h^n)}{\partial t} \quad (6.52)$$

และเมื่อให้ความหนาแน่นและความหนืดคงที่

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r h^{n+2} \frac{\partial p}{\partial r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(h^{n+2} \frac{\partial p}{\partial \theta} \right) = 12mnr \frac{\partial (h^n)}{\partial t} = -12mnr (w)^n \quad (6.53)$$

โดยที่ $w = -\frac{\partial h}{\partial t}$ โดยเป็น ความเร็วในการกดอัด (squeeze velocity)

เมื่อวิเคราะห์ในแนวแกนระนาบไม่เกิดการไหลออกทางด้านข้าง (side leakage) จะได้

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r h^{n+2} \frac{\partial p}{\partial r} \right) = 12mnr \frac{\partial (h^n)}{\partial t} \quad (6.54)$$

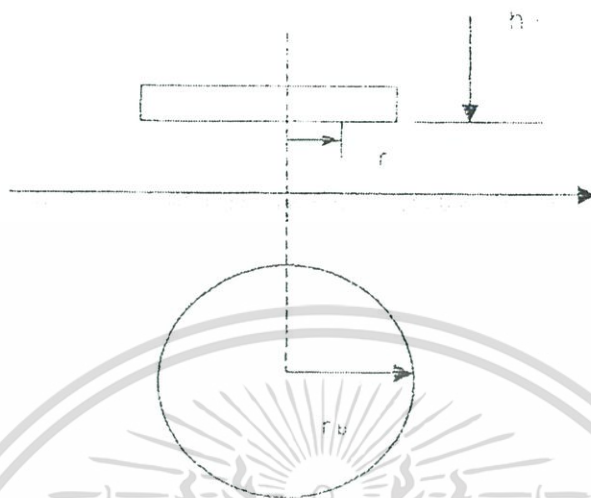
เมื่อคิดว่าพื้นที่ผิวสัมผัสมีความหยาบ

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\phi_x \frac{r h^{n+2}}{12mnr} \frac{\partial p}{\partial r} \right) = \frac{\partial (h^n)}{\partial t} \quad (6.55)$$

เมื่อแทนค่า pressure flow factor ลงในสมการที่ (6.55) จะได้สมการเรโนลด์ที่มีความสัมพันธ์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\left(1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\sigma}{h} \right)^2 \right) \frac{rh^{n+2}}{12mnr} \frac{\partial p}{\partial r} \right) = \frac{\partial}{\partial t} (h)^n = -(w)^n \quad (6.56)$$



รูปที่ 6.3 แสดงพื้นที่บริเวณแผ่นกลมแบนราบที่เป็นส่วนพื้นของถ้วย

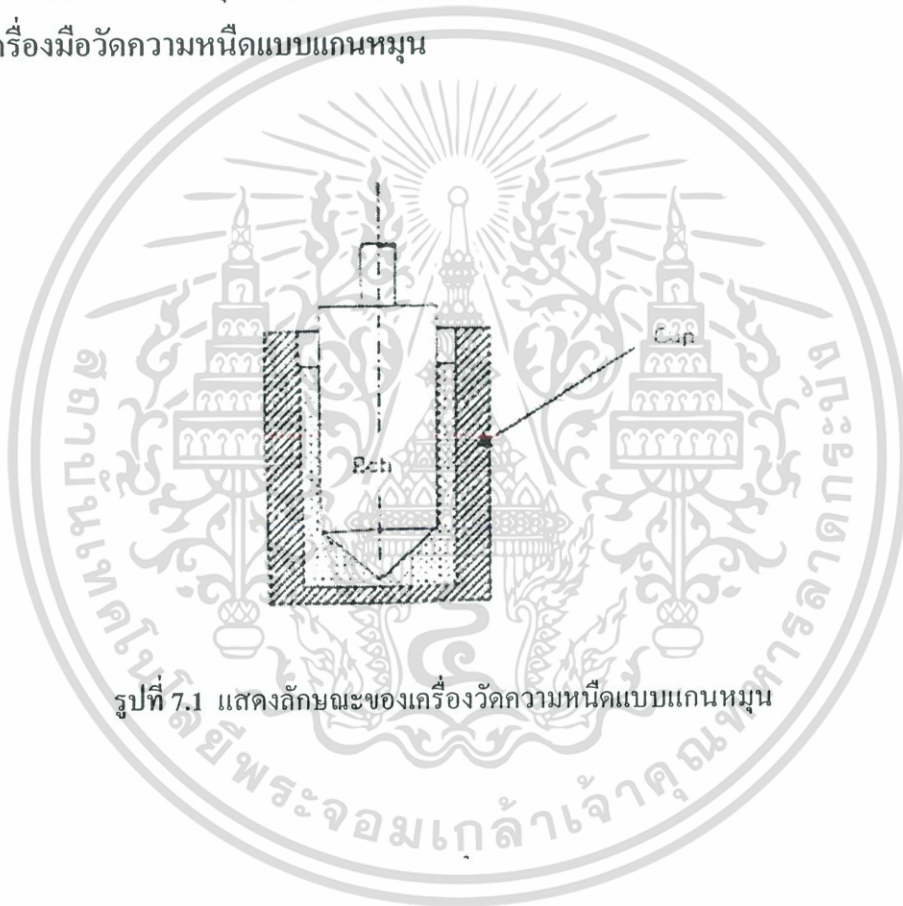
ถ้า $n=1$ ของไหลนั้นจะเป็นของไหลนิวโตเนียน และถ้า $n>1$ ของไหลนั้นจะเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดไดลาแตนท์ (Dilatant) ถ้า $n<1$ ของไหลนั้นจะเป็นของไหลนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก (Pseudoplastic)

บทที่ 7

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

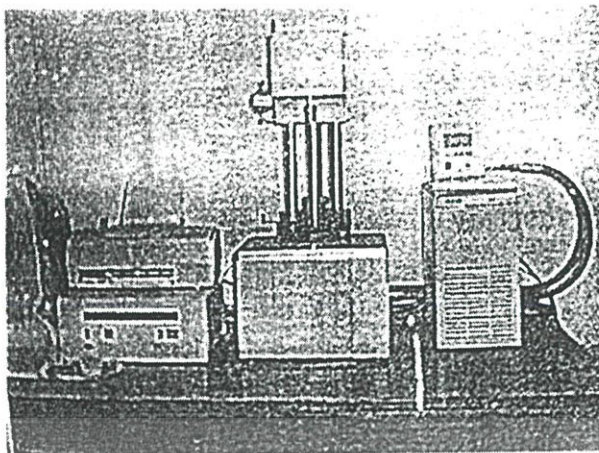
ในการทดลองเรื่องการศึกษาคุณสมบัติของสารหล่อลื่นและสารหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาสารหล่อลื่นชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันปื้มขึ้นรูปโลหะหรือฟอร์มมิ่งออยล์มาใช้ทดแทน โดยทำการทดลองเพื่อหาค่าความเค้นเฉือน อัตราการเฉือน ความหนืด และความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่น และสารหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ ประกอบด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองดังต่อไปนี้

7.1 เครื่องมือวัดความหนืดแบบแกนหมุน



รูปที่ 7.1 แสดงลักษณะของเครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



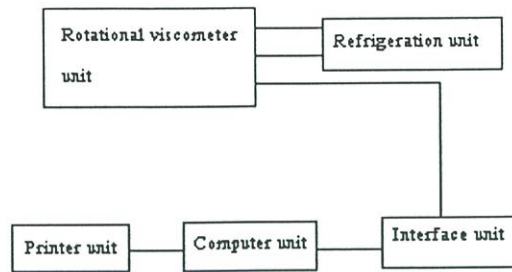
รูปที่ 7.2 เครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน

เครื่องมือวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Rotational Viscometer) นี้ จะประกอบไปด้วย ทรงกระบอกสองอันที่มีรัศมีต่างกัน โดยทรงกระบอกอันในจะเป็นท่อทรงกระบอกตันที่หมุนอยู่ภายในท่อทรงกระบอกกลวงที่อยู่ก้นที่ ในการใช้งานจะใส่ของเหลวเราต้องการทดสอบคุณสมบัติลงไปในช่วงระหว่างทรงกระบอกทั้งสอง เมื่อท่อทรงกระบอกอันในหมุนจะทำให้ของเหลวภายในเคลื่อนที่ภายใต้ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นจากการหมุนของทรงกระบอกอันใน

การทดสอบคุณสมบัติของสารหล่อลื่นและสารหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งทดสอบที่ห้อง Lubrication Laboratory ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบชื่อ PHYSIGA รุ่น RHEOLAB MC 120 ซึ่งออกแบบและสร้างขึ้นตามมาตรฐาน DIN 53019 มีรายละเอียดของอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วย

1. Rotational viscometer unit
2. Refrigeration unit
3. Interface unit
4. Computer unit
5. Printer unit

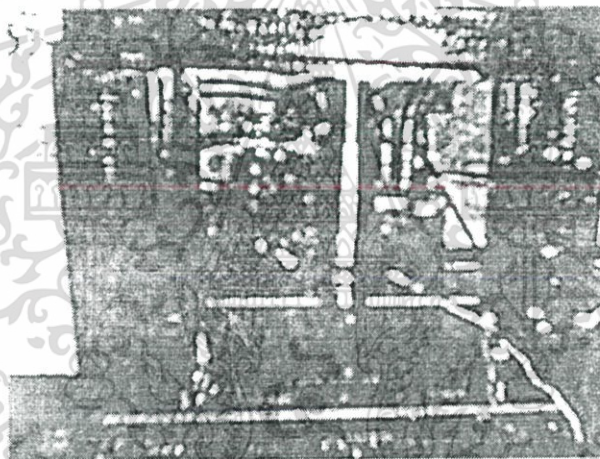
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.3 แผนผังการทำงานของ Rheology lab test

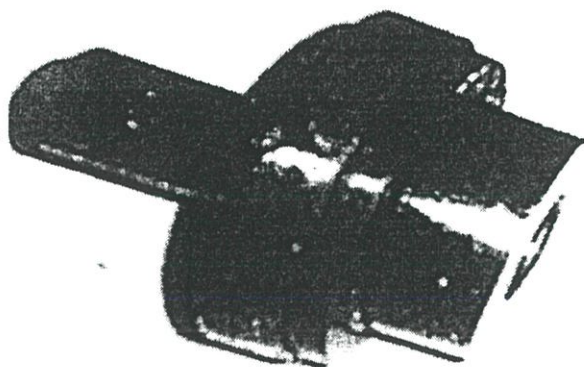
7.2 เครื่องปั๊มขึ้นรูปโลหะ

โครงสร้างเครื่องปั๊มขึ้นรูปโลหะประกอบไปด้วย กระบอกสูบไฮดรอลิกส์ ชุดแม่พิมพ์ (พื้นที่ และคาน)

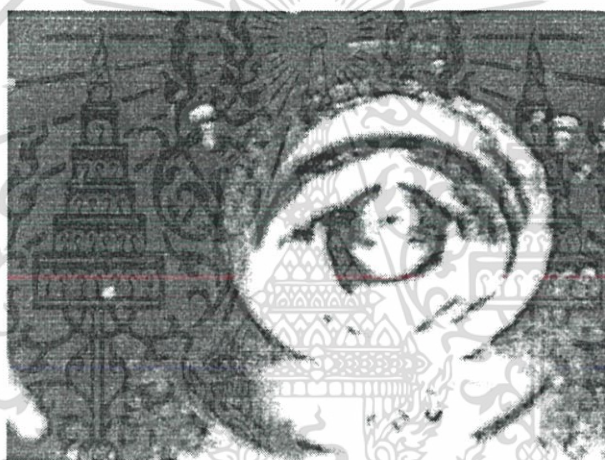


รูปที่ 7.4 เครื่องปั๊มขึ้นรูปโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



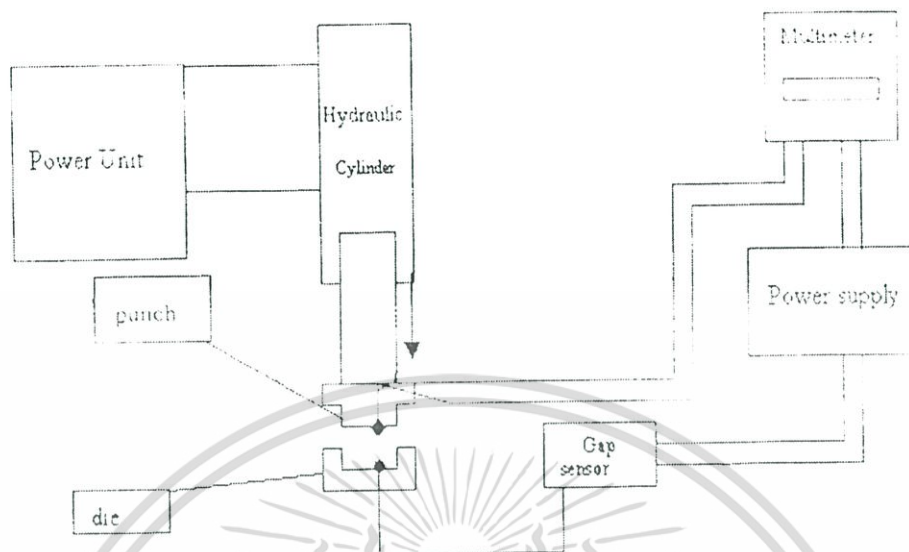
รูปที่ 7.5 punch (แม่พิมพ์ฟันซ์)



รูปที่ 7.6 die (แม่พิมพ์ตาย)

การทำงานของเครื่องเมื่อจะทำการปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่น โดยที่ชุด power unit จะใช้วาล์วควบคุมความดัน (pressure control valve) ควบคุมการทำงานของลูกสูบให้เลื่อนขึ้นลงตามความโดยที่กำหนด โดยจะมี Gap sensor ติดตั้งที่ตัว punch เพื่อทำการตรวจวัดความหนาฟิล์มน้ำมัน และจะแสดงค่าที่ได้จากการวัดทาง มัลติมิเตอร์ โดยมีชุด power supply จะเป็นตัวจ่ายกระแสให้วงจรทำงานดังแผนผังการทำงานรูปที่ 7.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.7 แผนผังการทำงานของชุดทดสอบ

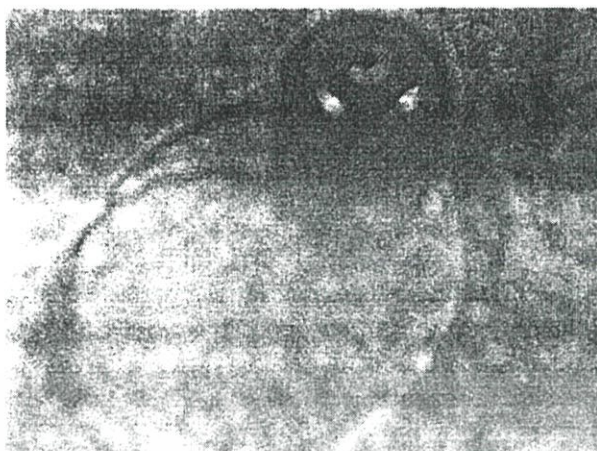
7.3 อุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มน้ำมัน

อุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มน้ำมัน ในการทดลองนี้ใช้ Gap sensor ยี่ห้อ AEC รุ่น AEC 5505 สามารถใช้วัดในช่วง 0-0.2 มิลลิเมตร ใช้กับแหล่งจ่ายไฟขนาด 12 โวลต์ (DC) 40 มิลลิแอมป์ (mA) มีลักษณะและส่วนประกอบดังรูปที่ 7.8



รูปที่ 7.8 อุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.9 Gap Sensor ต่อเข้ากับพื้นผิว

7.4 แผ่นเหล็กที่ใช้ปั๊มขึ้นรูป

แผ่นเหล็กที่ใช้ทดสอบในการปั๊มขึ้นรูปจะเป็นแผ่นเหล็กชนิดเหนียว (SPCC) มีความหนา 1 มิลลิเมตร

7.5 การทดลองวัดค่าความหยาบ-ความละเอียดของผิวโลหะ

การทดสอบการวัดค่าความหยาบ-ความละเอียดของผิวโลหะทดสอบที่ห้อง เครื่องมือวัดละเอียดของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การทดสอบจะกำหนด ระยะ cut off (ช่วงที่วัด) 0.8 mm ค่าความหยาบ-ความละเอียดที่วัดได้สามารถตั้งค่าได้ว่าต้องการให้เป็นค่า R_a , R_q , หรือ R_z ในการทดสอบครั้งนี้ ต้องการวัดค่าความหยาบ - ความละเอียดให้ออกมาเป็นค่า R_q ได้ผลดังนี้

แม่พิมพ์ ค่าความหยาบ วัดครั้งที่	1.	0.40	μm
	2.	-0.59	μm
	3.	0.43	μm
	4.	0.54	μm
ชิ้นงาน ค่าความหยาบ วัดครั้งที่	1.	0.81	μm
	2.	0.83	μm
	3.	0.84	μm
	4.	0.90	μm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

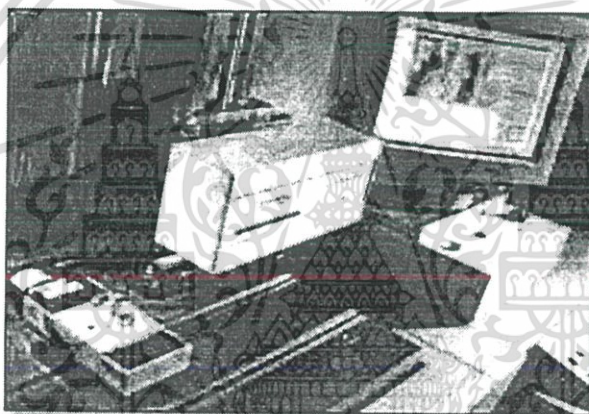
- Ra = ค่าความหยาบเฉลี่ยมาตรฐาน
 Rq = ค่าความหยาบเฉลี่ย rms ($Rq \sim Ra$)
 Rz = ค่าความหยาบสูงสุด 5 ค่า – ค่าความหยาบต่ำสุด 5 ค่า

5

$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx}$$

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^{i=5} Y_{pi} - \sum_{i=1}^{i=5} Y_{li} \right)$$



รูปที่ 7.10 เครื่องวัดความเรียบผิว

ในการขึ้นรูปโลหะถ้าพื้นผิวทั้งสองมีความหยาบมาก จำเป็นต้องเลือกใช้น้ำมันที่ให้ค่าความหนาฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นสูงหรือน้ำมันที่มีความหนืดมาก ซึ่งจะทำให้ค่าการกระจายแรงดันที่เกิดขึ้นในน้ำมันลดลง เพื่อเป็นการป้องกันการสัมผัสกันระหว่างแม่พิมพ์และชิ้นงาน

7.6 สารหล่อลื่น และสารหล่อลื่นผสมสารเติมแต่ง ที่นำมาใช้ทดลอง

สารหล่อลื่นที่นำมาทดลองคือ น้ำมันปั๊มขึ้นรูปโลหะ (Form oil) น้ำมันปาล์ม และ น้ำมันมะพร้าว และสารเติมแต่งที่นำมาทดลอง คือ Zine Dialky Dithiophate (ZDDP) และสาร Extreme Pressure (EP) โดยสารเติมแต่งจะทำการเติมที่ 1 % และ 2 % โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารหล่อลื่น และสารหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งที่นำมาใช้ทดลองมี 10 ชนิดดังนี้

- 1 Form oil
- 2 Palm
- 3 Palm + ZDDP 1 % + EP 1 %
- 4 Palm+ ZDDP 2 % + EP 2 %
- 5 Coconut
- 6 Coconut + ZDDP 1 % + EP 1 %
- 7 Coconut + ZDDP 2 % + EP 2 %
- 8 Lard
- 9 Lard + ZDDP 1 % + EP 1 %
- 10 Lard + ZDDP 2 % + EP 2 %



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

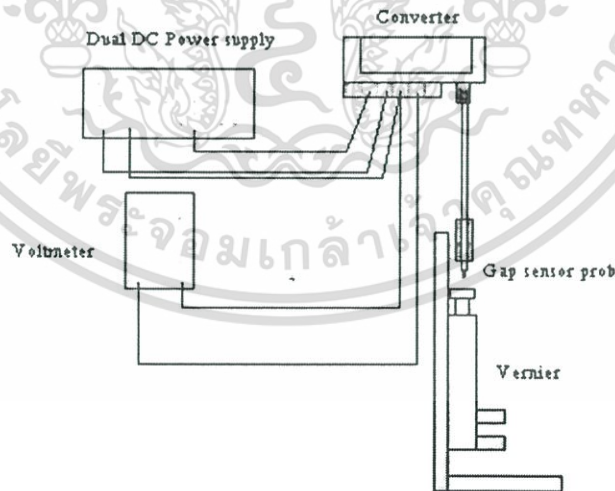
บทที่ 8

วิธีการทดลองและผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนดำเนินการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหนาฟิล์มสารหล่อลื่น และ ขั้นตอนการทดลองทางรีโวลูยี

8.1 ขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหนาฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น (Gap Sensor)

เครื่องมือสำหรับการวัดความหนาฟิล์มน้ำมันที่อยู่ระหว่างแม่พิมพ์ และชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองนี้คือ Gap Sensor ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดระยะห่างระหว่างชิ้นงานได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสของหัวโพรบ (Probe) กับพื้นผิววัตถุเป้าหมาย (target object) ในการสอบเทียบค่าอุปกรณ์ Gap Sensor นี้ จะทำการติดตั้งหัว Probe เข้ากับตัวยึดเพื่อไม่ให้หัว Probe เกิดการเคลื่อนที่ในระหว่างการสอบเทียบค่า ดังแสดงในรูปที่ 8.2 โดยให้หัว Probe อยู่ผิววัตถุเป้าหมาย จากนั้นจึงทำการเลื่อนวัตถุเป้าหมายให้เคลื่อนที่ไปแล้ว จึงทำการบันทึกค่าที่อ่านได้โดยการอ่านจากเครื่องโวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) แล้วนำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่าง Voltage กับ ระยะขจัด (Displacement)



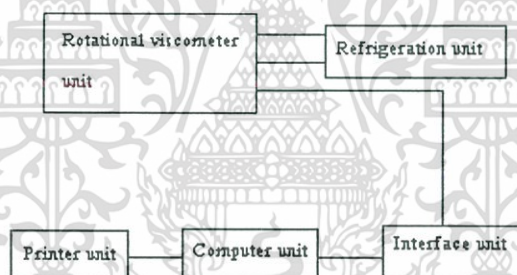
รูปที่ 8.1 แสดงการสอบเทียบค่าของอุปกรณ์วัดความหนาฟิล์มน้ำมัน (Gap Sensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2 ขั้นตอนการทดลองทางรีโอโลยี (Rheology Lab Test)

การทดลองทางรีโอโลยีเพื่อหาเส้นกราฟแสดงการไหล (Flow Stress) เพื่อหาค่าความเค้นเฉือน (Shear Stress) อัตราการเฉือน (Shear Rate) และ ความหนืด (Viscosity) ของสารหล่อลื่น และ สารหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ โดยสารหล่อลื่นที่นำมาใช้ทดลองมี 10 ชนิดดังนี้

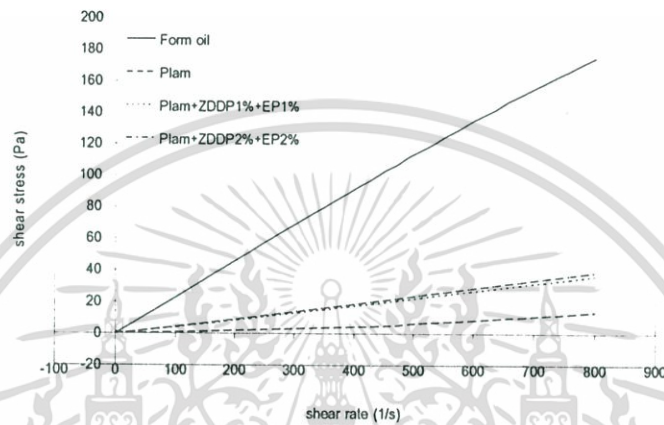
1. Form oil
2. Palm
3. Palm + ZDDP 1 % + EP 1 %
4. Palm+ ZDDP 2 % + EP 2 %
5. Coconut
6. Coconut + ZDDP 1 % + EP 1 %
7. Coconut + ZDDP 2 % + EP 2 %
8. Lard
9. Lard + ZDDP 1 % + EP 1 %
10. Lard + ZDDP 2 % + EP 2 %



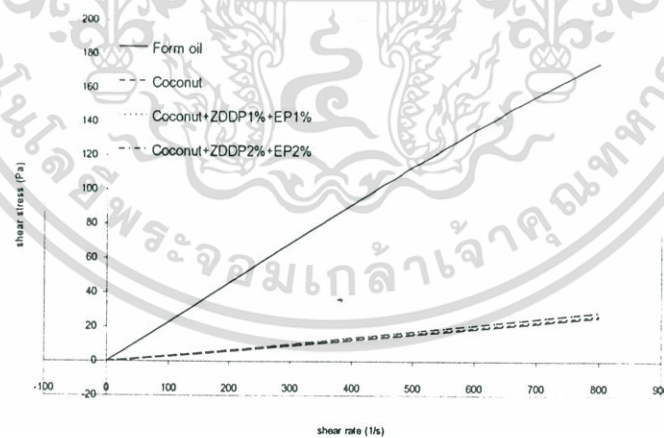
รูปที่ 8.2 แสดงแผนผังไดอะแกรมของอุปกรณ์ Rheology lab test

8.3 ผลการทดลองทางรีโอโลยี

ผลการทดลองทางรีโอโลยีได้จากการนำน้ำมันขึ้นรูปโลหะ (Form oil) สารหล่อลื่น และ สารหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งที่ต้องการมาทดสอบกับเครื่องทดสอบกับแกนหมุน เพื่อหาค่า เส้นกราฟแสดงการไหล (Flow Stress) เพื่อหาค่าความเค้นเฉือน (Shear Stress) อัตราการเฉือน (Shear Rate) และ ความหนืด (Viscosity) ของสารหล่อลื่น และสารหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งชนิด ต่างๆ เครื่องจะแสดงผลที่ได้จากการทดสอบ จากนั้นนำผลที่ได้ ไปเปรียบเทียบกับน้ำมันปัมขึ้น รูปโลหะ

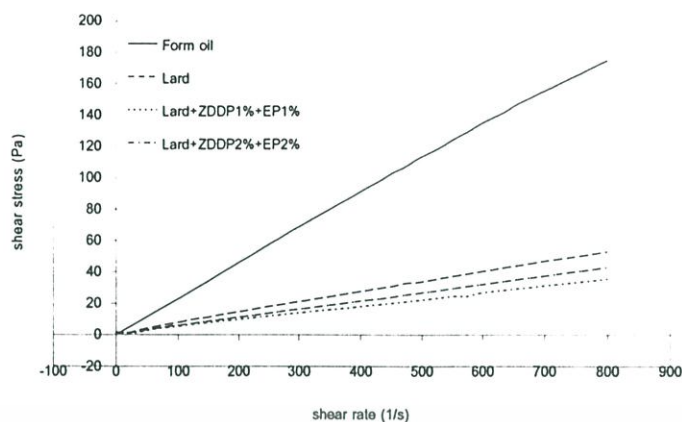


รูปที่ 8.3 ผลการทดลองหาค่าความเค้นเฉือนของน้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์มผสมสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 40° C

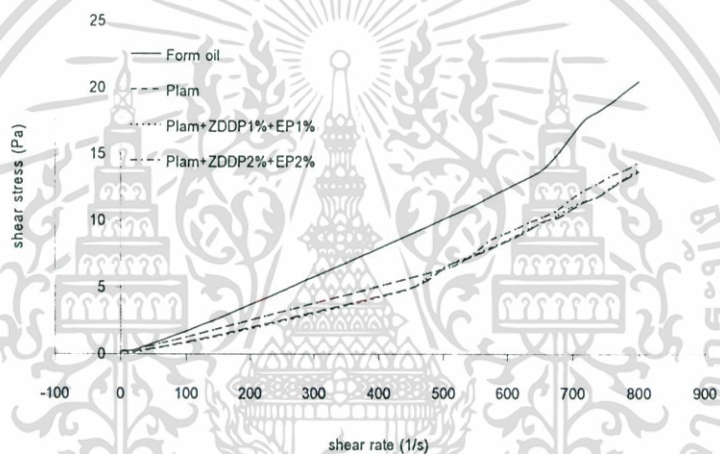


รูปที่ 8.4 ผลการทดลองหาค่าความเค้นเฉือนของน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันมะพร้าวผสมสารเติม แต่งที่อุณหภูมิ 40° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

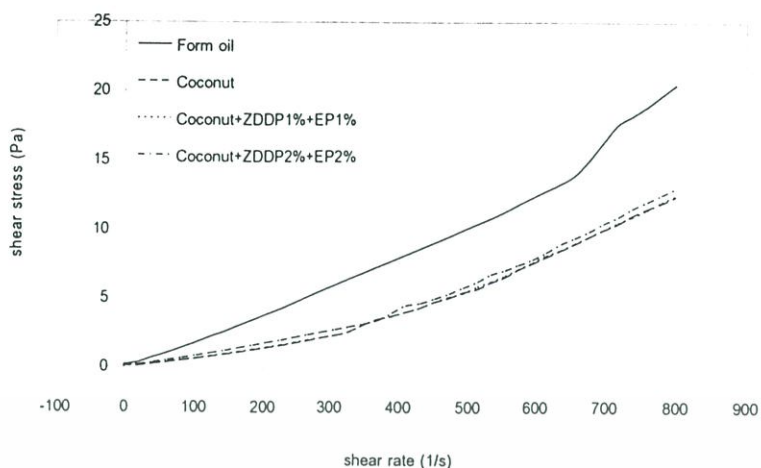


รูปที่ 8.5 ผลการทดลองหาค่าความเค้นเฉือนของน้ำมันหมู่น้ำมันหมูผสมสารเติมแต่งที่อุณหภูมิ 40° C

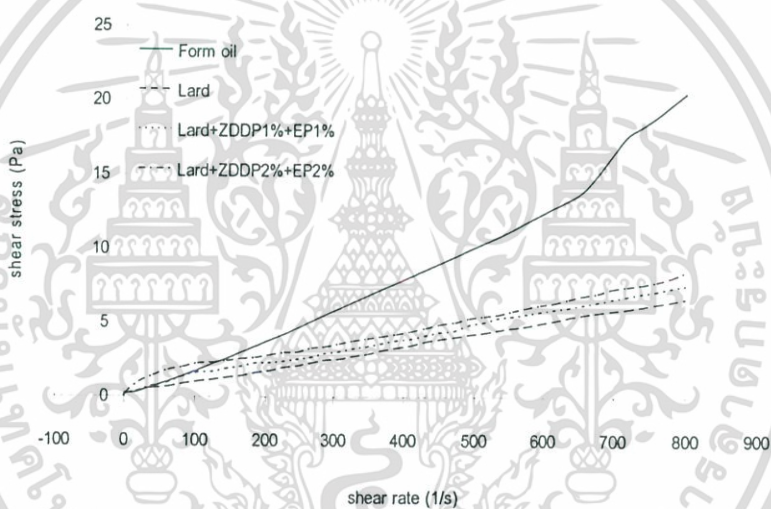


รูปที่ 8.6 ผลการทดลองหาค่าความเค้นเฉือนของน้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์มผสมสารเติมแต่งที่อุณหภูมิ 100° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

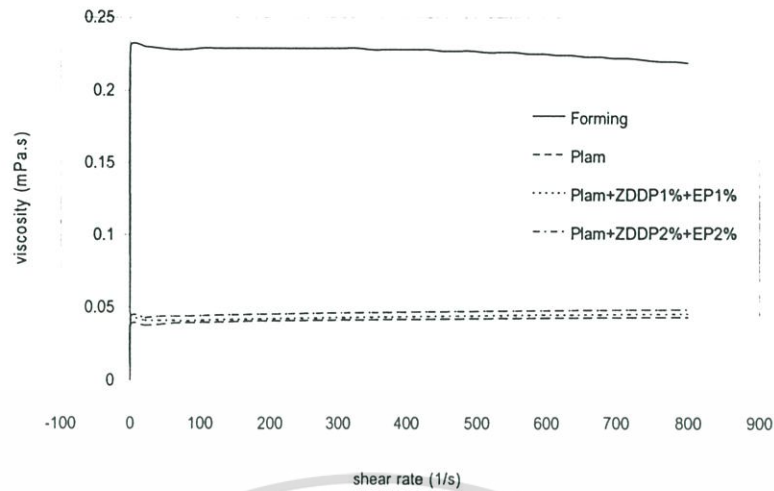


รูปที่ 8.7 ผลการทดลองหาค่าความเค้นเฉือนของน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันมะพร้าวผสมสารเติมแต่งที่อุณหภูมิ 100° C

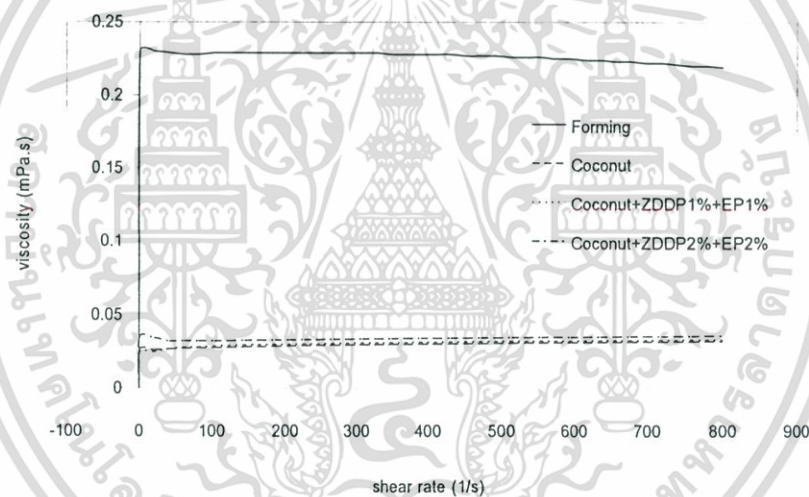


รูปที่ 8.8 ผลการทดลองหาค่าความเค้นเฉือนของน้ำมันหมู่น้ำมันหมูผสมสารเติมแต่งที่อุณหภูมิ 100° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

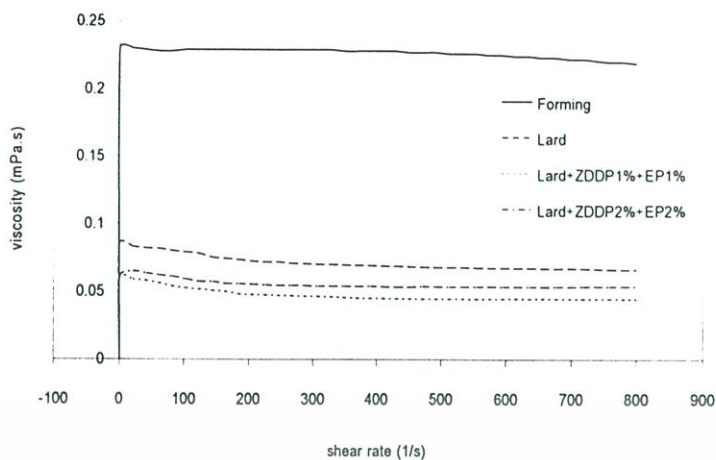


รูปที่ 8.9 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์มผสมสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 40° C

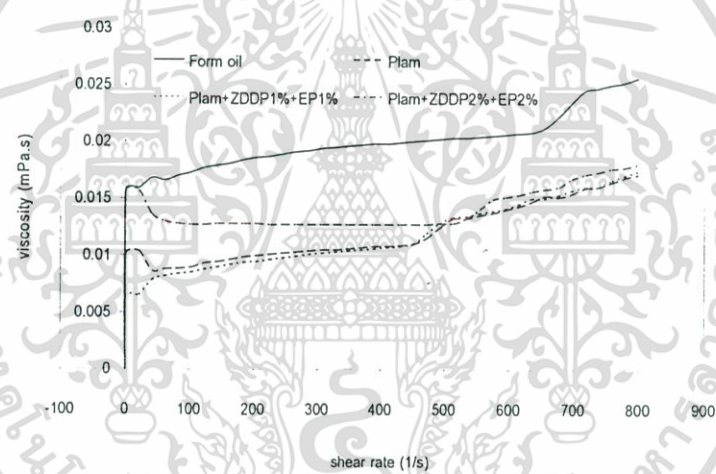


รูปที่ 8.10 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันมะพร้าวผสมสารเติมแต่ง ที่อุณหภูมิ 40° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

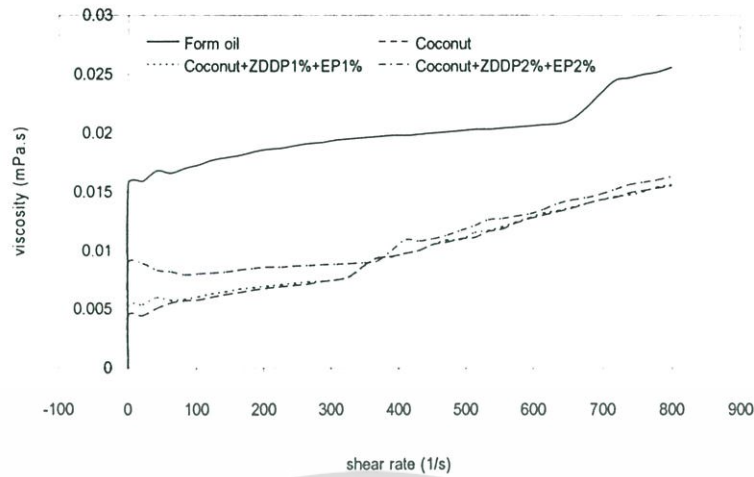


รูปที่ 8.11 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำมันหมู่น้ำมันหมูผสมสารเติมแต่งที่อุณหภูมิ 40° C

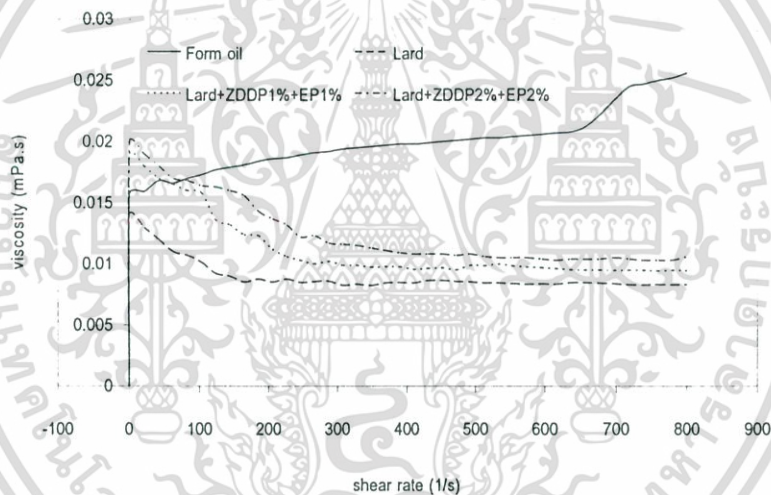


รูปที่ 8.12 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์มผสมสารเติมแต่งที่อุณหภูมิ 100° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.13 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันมะพร้าวผสมสารเติมแต่งที่อุณหภูมิ 100° C



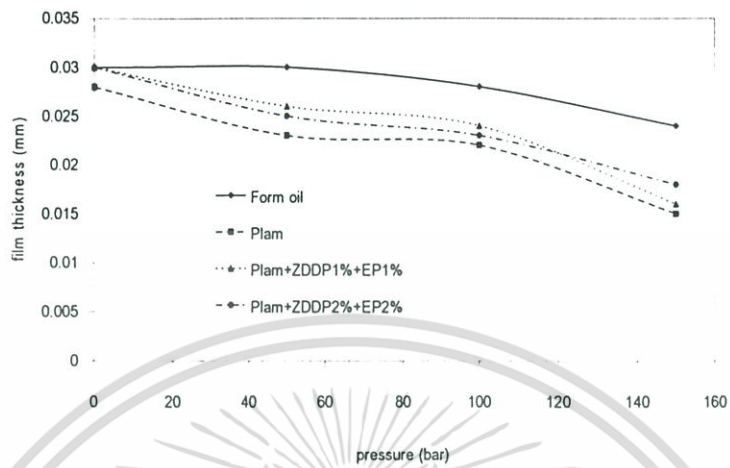
รูปที่ 8.14 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำมันหมู่น้ำมันหมูผสมสารเติมแต่งที่อุณหภูมิ 100° C

8.4 ผลการทดลองในการหาค่าความหนาฟิล์มน้ำมัน

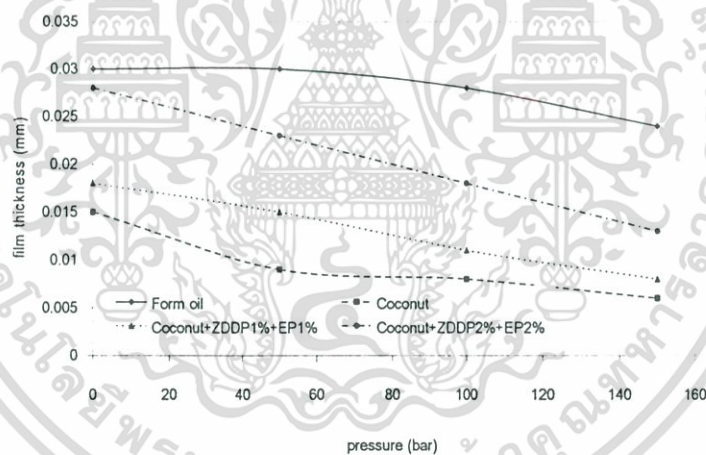
วิธีการทดลองเพื่อหาค่าความหนาฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ สามารถทำได้โดย นำน้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบมาทาบนแผ่นโลหะ แล้วนำไปปั๊มขึ้นรูปบนแม่พิมพ์ที่มีความดันต่างๆ แล้ววัดบันทึกค่าที่ได้ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันปั๊มขึ้นรูปโลหะ

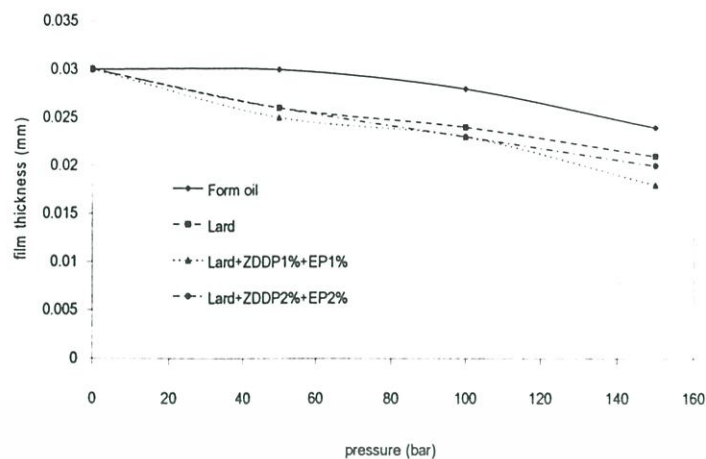


รูปที่ 8.15 ผลการทดลองหาค่าความหนาฟิล์มของน้ำมันปาล์มและน้ำมันปาล์มผสมสารเติมแต่ง



รูปที่ 8.16 ผลการทดลองหาค่าความหนาฟิล์มของน้ำมันมะพร้าวและน้ำมันมะพร้าวผสมสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.17 ผลการทดลองหาค่าความหนาฟิล์มของน้ำมันหมู่น้ำมันหมูผสมสารเติมแต่ง

นำค่าความหนาฟิล์มน้ำมันแต่ละชนิดที่ได้ นำมาทำการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดของข้อมูล (curve fitting) จากผลการทดลองหาค่าความหนี้ของสารแต่ละชนิดจะได้ค่า คงที่ของโมเดล m และค่าดัชนีเพาเวอร์ลอ n ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 8.1 แสดงค่าคงที่ของ โมเดล m และค่าดัชนีเพาเวอร์ลอ n

ชื่อสารหล่อลื่น	ผสมสารเติมแต่ง 0 %		ผสมสารเติมแต่ง 1 %		ผสมสารเติมแต่ง 2 %	
	m	n	m	n	m	n
Forming oil	0.2	1	-	-	-	-
Plam oil	0.032	1.043	0.03	1.05	0.036	1.044
Coconut oil	0.02	1.07	0.02	1.07	0.026	1.045
Lard oil	0.096	0.92	0.064	0.915	0.086	0.887

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.5 ผลของแรงดันที่มีต่อความหนาฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น

จากการทดลองเพื่อหาความหนาฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ พบว่า เมื่อเพิ่มความดันในการปั๊มขึ้นรูปให้มากขึ้นจะมีผลทำให้ฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นบางลง

8.6 ผลการทดลองหาค่าความหยาบ-ความละเอียดบนผิวแม่พิมพ์และชิ้นงาน

ตารางที่ 8.2 แสดงผลการทดลองวัดค่าความหยาบที่ผิวโลหะ

โดยค่าความหยาบของผิวโลหะที่วัดได้จะเป็นค่าความหยาบเฉลี่ยมาตรฐาน (R_q)

ความหยาบ	วัดครั้งที่ (หน่วย μm)			
	1	2	3	4
ที่ผิวของแม่พิมพ์	0.40	0.59	0.43	0.54
ที่ผิวของชิ้นงาน	0.81	0.83	0.84	0.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

การวิเคราะห์การป้อนชิ้นรูปโลหะแผ่นโดยใช้โปรแกรม ABAQUS CAE

ในวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้โปรแกรม ABAQUS CAE สร้างโมเดลขึ้นมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของของแข็งเมื่อเกิดแรงกระทำ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้สามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

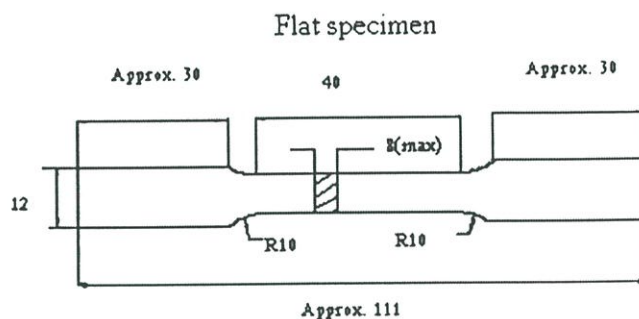
9.1 ชิ้นส่วน

ในส่วนนี้เป็นการสร้างชิ้นส่วนต่างๆขึ้นมาในโปรแกรม ชิ้นส่วนต่างๆนี้จะสร้างขึ้นมาก็ขึ้นก็ได้แล้วแต่ว่างานที่ต้องการวิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้ จะสร้างชิ้นส่วนขึ้นมา 4 ชิ้น ดังนี้

- punch
- die
- plate
- blank holder

9.2 การสร้างและกำหนดชนิดวัสดุ

ในส่วนนี้เป็นการสร้างและกำหนดชนิดของวัสดุที่จะใช้ในโมเดล ในงานวิจัยนี้สร้างและกำหนดชนิดของวัสดุเป็นเหล็ก และให้ค่า Young's modulus , Poisson's ratio , Yield stress , Plastic strain กับชิ้นส่วน plate ค่าทั้งหมดสามารถหาได้จากการทดลอง โดยใช้เครื่องดึงโลหะแผ่น เพื่อดึงโลหะแผ่นที่เป็นชิ้นงาน เครื่องดึงโลหะแผ่นชื่อ INSTRON รุ่น 5566 ที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผลการทดลองหาค่าความเค้นและความเครียดของเหล็กที่นำมาใช้ขึ้นรูปโลหะทดลองโดยนำไปทดสอบ โดยเครื่องดึงเหล็กที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง โดยจะต้องมีการเตรียมชิ้นงานให้มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 9.1 ลักษณะชิ้นงานที่นำไปทดสอบโดยการดึงให้ขาดเพื่อหาค่าความเค้นและความเครียด

ผลการทดลองหาค่าความเค้นและความเครียดของเหล็กที่นำมาใช้ขึ้นรูปโลหะ ทดลองโดยนำไปทดสอบโดยการเตรียมชิ้นงานให้ได้ดังรูป 9.1 แล้วนำไปดึงให้ขาดโดยใช้เครื่องดึงเหล็กที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังได้ผลออกมาดังนี้

ตารางที่ 9.1 ผลการทดลองหาค่าความเค้นและความเครียดของเหล็กที่นำมาใช้ขึ้นรูป

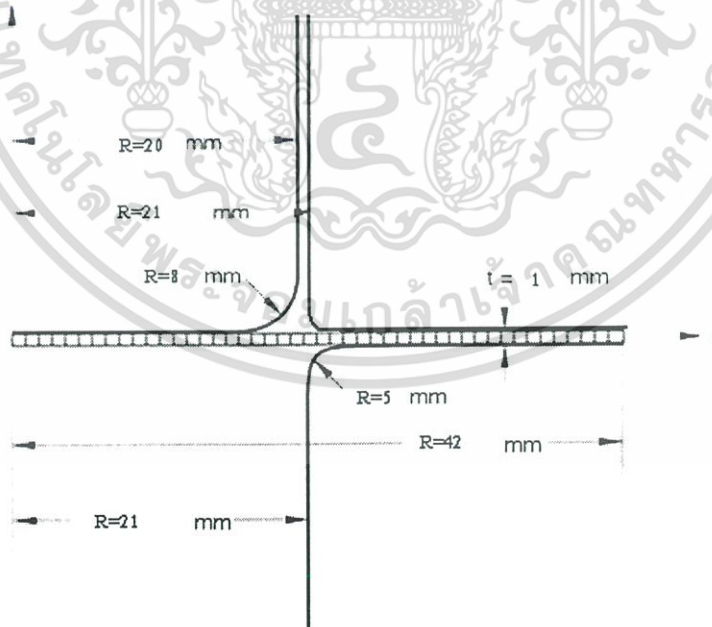
point	strain (%)	stress(MPa)
0	0	0
100	0.825	25.238
200	1.058	32.872
300	2.492	35.994
400	3.325	38.321
500	4.158	40.187
600	4.9916	41.674
700	5.8252	42.917
800	6.6584	43.932
800	7.4919	44.762
900	8.325	45.465
1000	9.1585	46.057
1100	9.9919	46.73
1200	10.8250	47.371
1300	11.659	47.661
1400	12.492	47.934

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1500	13.325	48.15
1600	14.158	48.303
1700	14.992	48.422
1800	15.825	48.476
1900	16.658	48
2000	17.492	463
2100	18.325	48
2200	19.158	248
2300	19.992	47.48
2400	20.825	45.581
2500	21.658	41.647
2600	22.492	14.633
2700	23.017	5.209

9.3 การประกอบโมเดล

ในส่วนนี้เป็นการนำ part ต่างๆ ที่สร้างขึ้น มาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปร่างโมเดลที่ต้องการ



รูปที่ 9.2 การนำชิ้นส่วน(part) แต่ละชิ้นมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นตัว โมเดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.4 สร้างขั้นตอนการวิเคราะห์

ในส่วนนี้เป็นการสร้างขั้นตอนการวิเคราะห์, กำหนดเวลาที่ต้องการใช้ในการวิเคราะห์ และ กำหนดผลลัพธ์ที่จะแสดงผลออกมา ในงานวิจัยนี้สร้างขั้นตอนการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

- ขั้นตอนที่ punch อยู่นิ่งกับที่
- ขั้นตอนที่ punch เคลื่อนกดลงบนแผ่น plate

9.5 การกำหนดค่าสภาวะขอบกับภาระกระทำ

ในส่วนนี้เป็นการกำหนดค่าสภาวะขอบ (boundary condition) กับภาระกระทำ (load) ให้กับ ชิ้นส่วนต่างๆ โมเดล เช่น กำหนดว่า ชิ้นส่วนใดให้อยู่นิ่ง ชิ้นส่วนใดให้เคลื่อนที่ไปจากตำแหน่ง เดิมเท่าไร หรือมีแรงกระทำตรงชิ้นส่วนใดบ้าง ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้

- Punch อยู่นิ่งกับที่ และเคลื่อนที่ลงตามแนวแกนเมื่อได้รับแรงกระทำ
- die อยู่นิ่งกับที่
- plate เคลื่อนที่ได้อิสระ
- blank holder อยู่นิ่งกับที่

9.6 การสร้าง Mesh ให้กับโมเดล

ในส่วนนี้เป็นการสร้างตารางตาข่ายสมมติขึ้นภายในชิ้นงาน หรือ ส่วนต่างๆของชิ้นงาน โดย สามารถกำหนดรูปร่างตารางตาข่ายเป็นอิลิเมนต์ (element) รูปร่างต่างๆได้ เช่น สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปร่างตารางตาข่ายเป็นอิลิเมนต์ (element) รูปสี่เหลี่ยมที่แผ่น plate

9.7 การสร้าง analysis job และการ run

ในส่วนนี้เป็นการตั้งชื่อให้กับงานที่ต้องการ run เมื่อตั้งชื่อแล้วก็สามารถ run โปรแกรมได้ และ ถ้าเป็นผลสำเร็จไม่มีอะไรผิดพลาดหน้าจอก็จะขึ้นคำว่า completed

9.8 การดูผลลัพธ์จากการวิเคราะห์

โปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ที่สร้างขึ้นในขั้นตอนการวิเคราะห์(step) โดย ผลลัพธ์ที่ได้ มีค่าต่างๆเช่น

- stress
- strains
- displacement / velocity / acceleration

- contact
- connector
- energy
- fracture
- thermal
- electrical



รูปที่ 9.3 การเปลี่ยนรูปร่างของแผ่นชิ้นงาน (plate) ขณะที่อยู่ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะ

จากรูปที่ 9.3 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนรูปร่างของแผ่นชิ้นงาน (plate) ขณะที่อยู่ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะเริ่มต้นจากชิ้นงานเป็นแผ่นโลหะแผ่นเรียบและถูกปั๊มขึ้นรูปให้ลึกลงจนกระทั่งชิ้นงานเปลี่ยนเป็นภาชนะรูปถ้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.9 ข้อแตกต่างระหว่างการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ABAQUS CAE และการทดลอง

ในการดูผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม ABAQUS CAE มีข้อแตกต่างจากการทดลองจริงคือ

1. การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม ABAQUS CAE สามารถที่จะดูผลลัพธ์ต่างๆที่เกิดขึ้นได้ ในขณะที่อยู่ในกระบวนการบีบขึ้นรูปโลหะ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สั้นมาก แต่ในการทดลองสามารถวัดค่าต่างๆได้หลังจากที่กระบวนการบีบขึ้นรูปโลหะนั้นเสร็จสิ้นแล้ว
2. สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดของชิ้นงานได้ตามที่ต้องการซึ่งในการทดลองเป็นการยากที่จะหาอุปกรณ์มาทดลองได้ในขนาดและรูปร่างต่างๆที่ต้องการ
3. การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม ABAQUS CAE ไม่สามารถหาค่าความหนาฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นที่เกิดขึ้นได้โดยตรงจากโปรแกรมแต่ในการทดลองสามารถหาได้



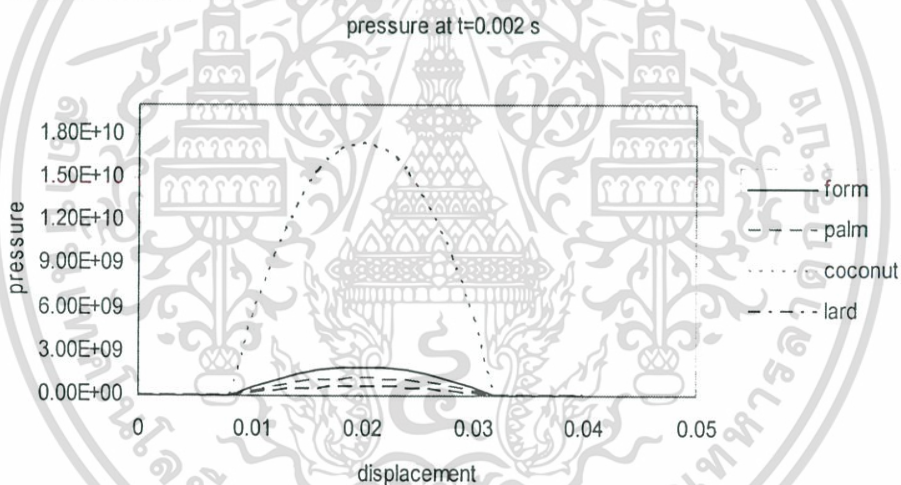
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 10

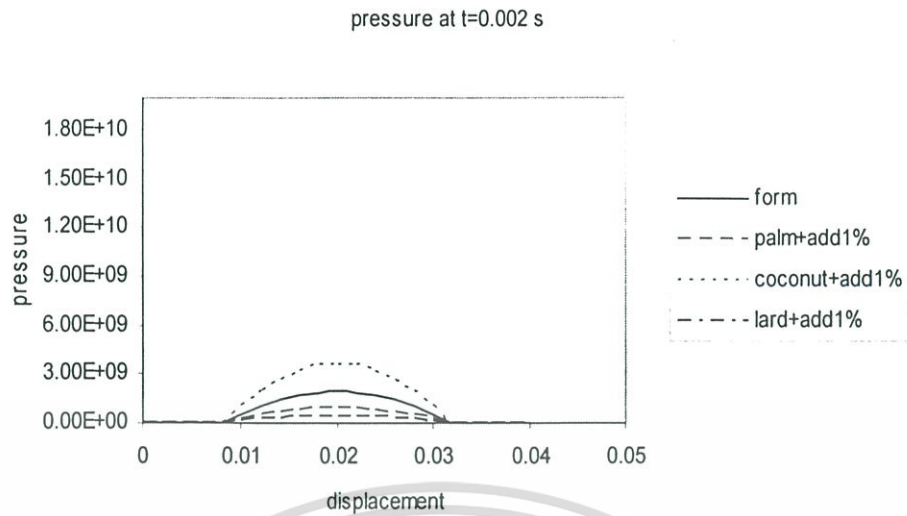
ผลการคำนวณและการวิเคราะห์

10.1 ผลการคำนวณ

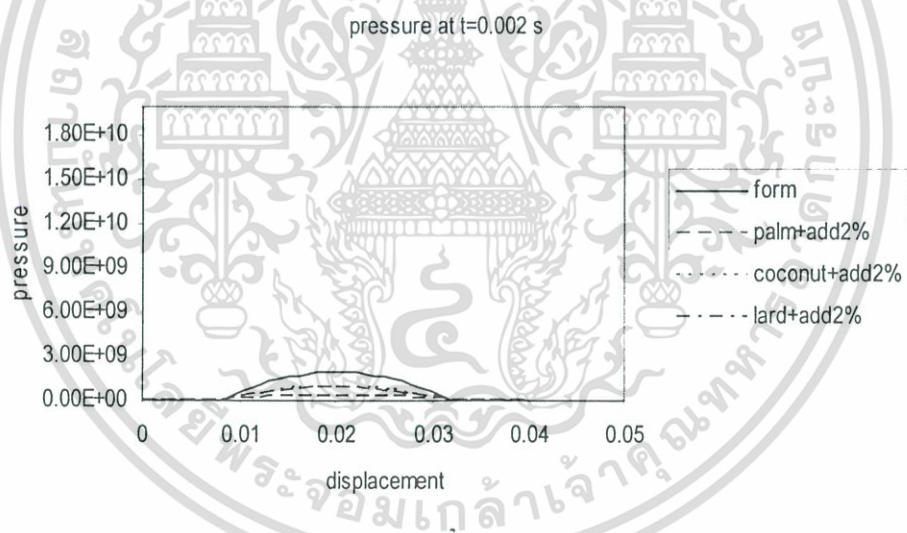
บทความนี้ได้้นำค่าที่ได้จากการทดลอง ไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรม ABAQUS CAE เพื่อคำนวณหาค่าการกระจายแรงดันน้ำมันหล่อลื่นที่เกิดขึ้นในเวลาต่างๆ ขณะที่ทำการบีบขึ้นรูปโลหะ โดยกำหนดให้ ความเร็วในการเคลื่อนที่ลงของ punch $U_1 = 1.0$ m/s, ความเร็วของแผ่นเหล็กขึ้นงาน plate $U_2 = 0$ m/s, ความหยาบผิวของ punch $\sigma_1 = 0.49$ μm , ความหยาบผิวของแผ่นเหล็กขึ้นงาน plate $\sigma_2 = 0.845$ μm จะได้ค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ ในขณะที่ขึ้นงาน เปลี่ยนแปลงจากแผ่น โลหะตรงไปเป็นรูปถ้วยที่มีขนาดรัศมีความ โกงงานข้าง 8 mm และมีบริเวณ แผ่นกลมแบนราบที่เป็นส่วนพื้นของถ้วยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 mm



รูปที่ 10.1 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับ น้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.002$ วินาที

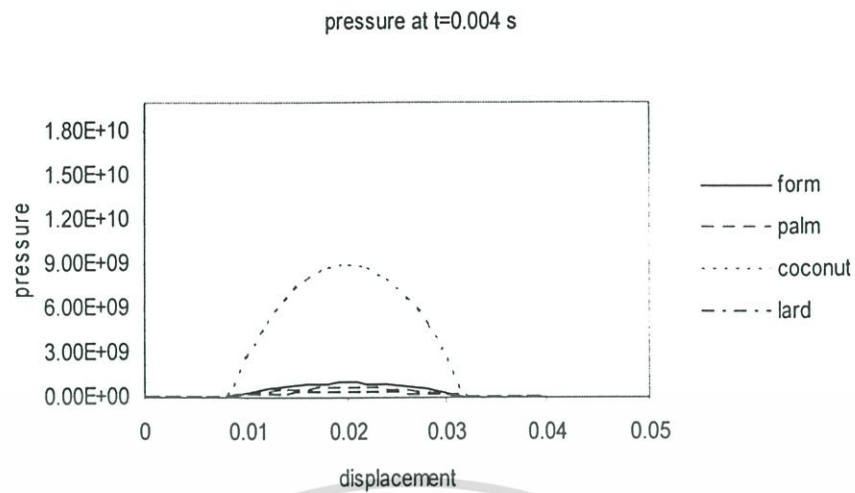


รูปที่ 10.2 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 1% เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.002$ วินาที

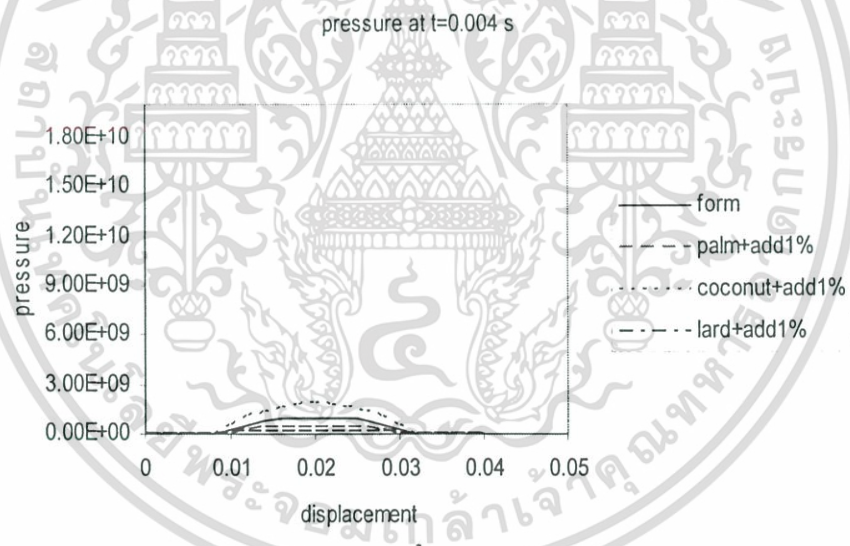


รูปที่ 10.3 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 2% เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.002$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

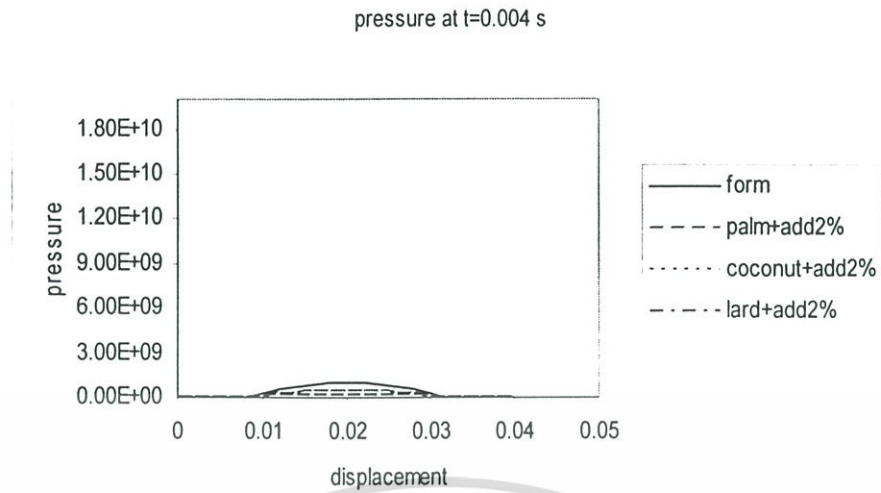


รูปที่ 10.4 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับ น้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.004$ วินาที

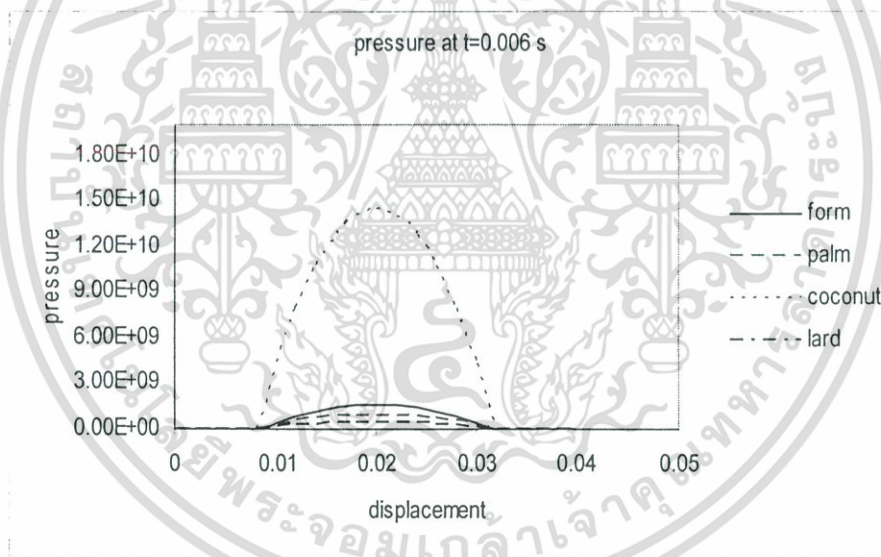


รูปที่ 10.5 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.004$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

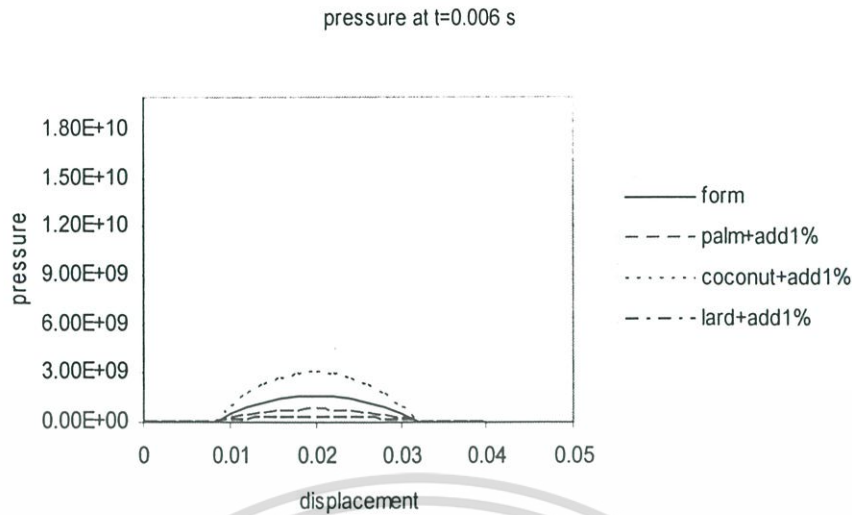


รูปที่ 10.6 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 2% เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.004$ วินาที

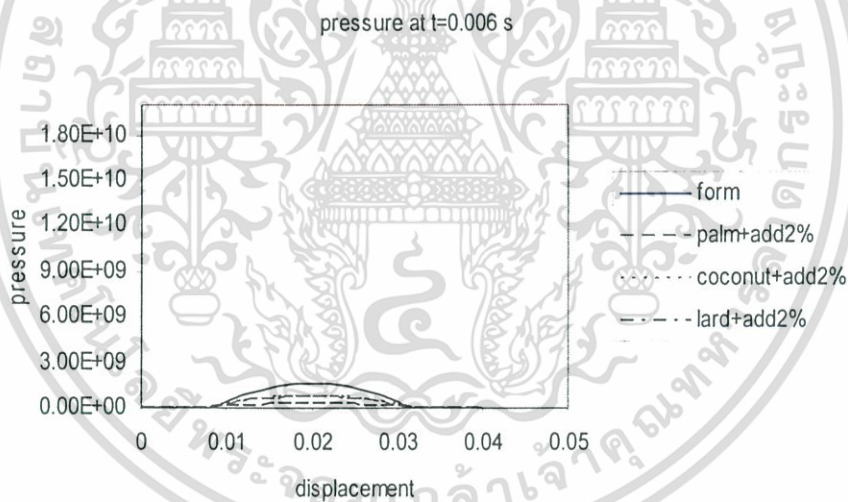


รูปที่ 10.7 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับ น้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.006$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

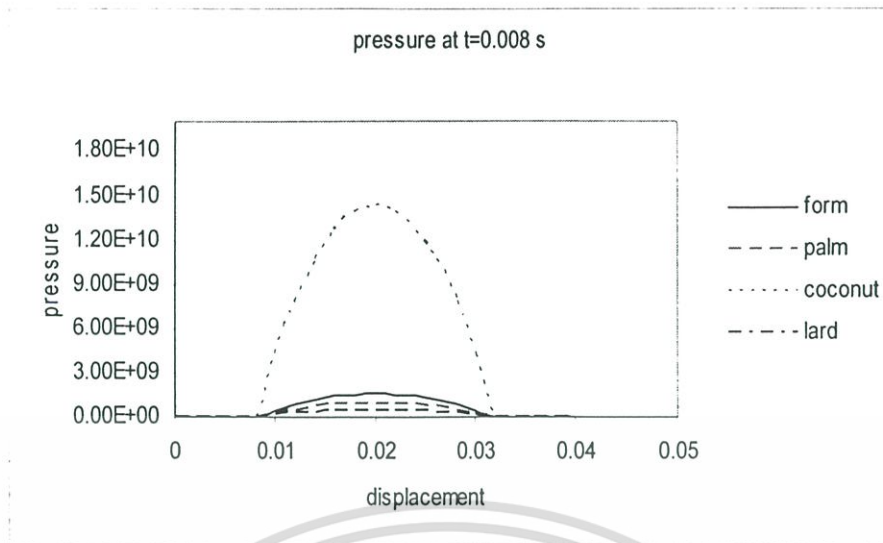


รูปที่ 10.8 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.006$ วินาที

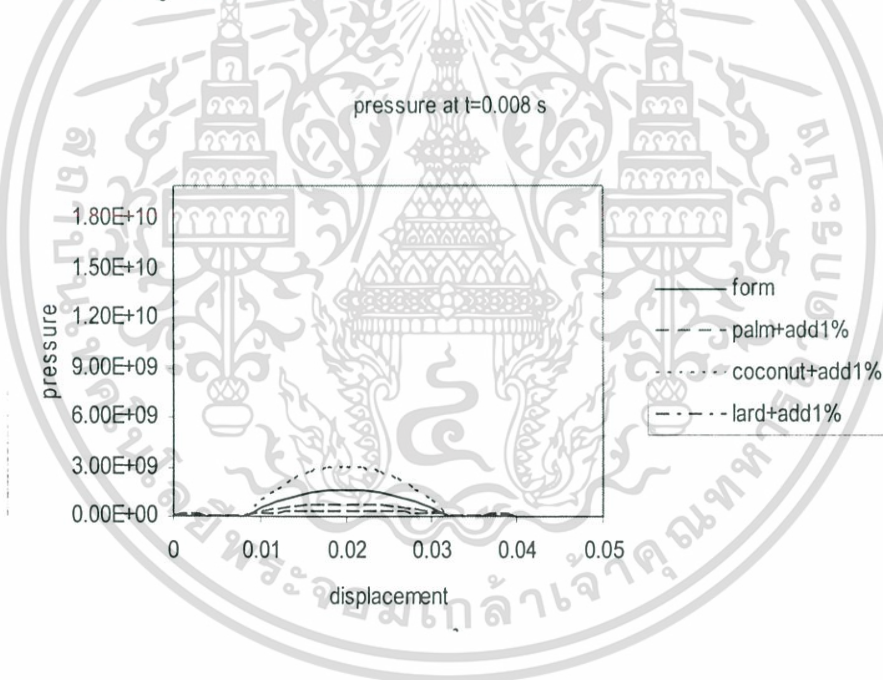


รูปที่ 10.9 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.006$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



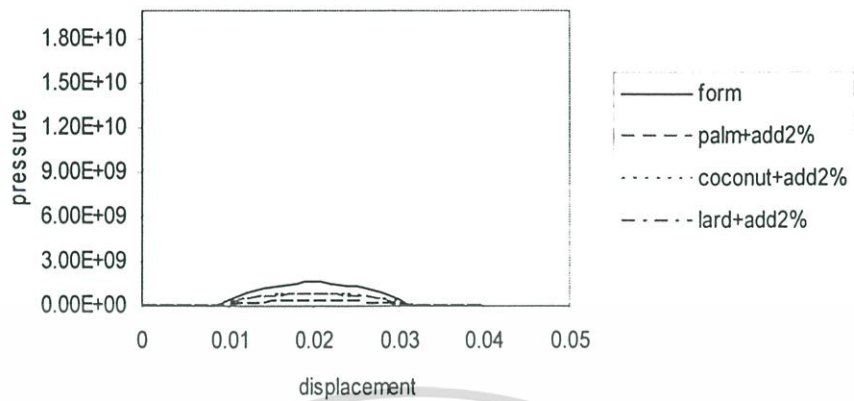
รูปที่ 10.10 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับ น้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.008$ วินาที



รูปที่ 10.11 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.008$ วินาที

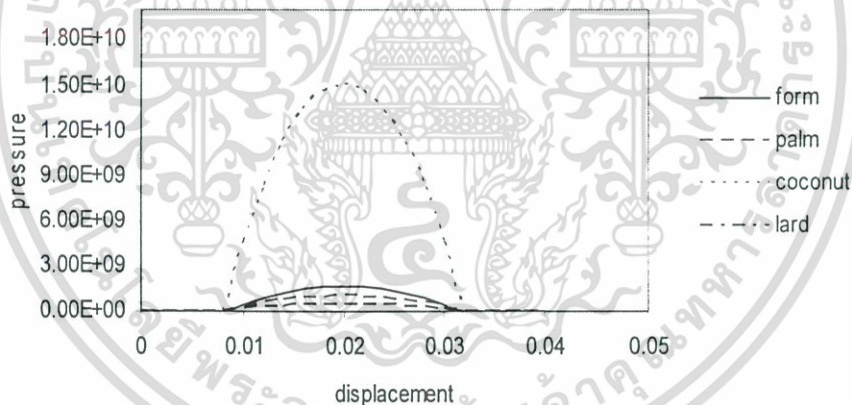
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pressure at t=0.008 s



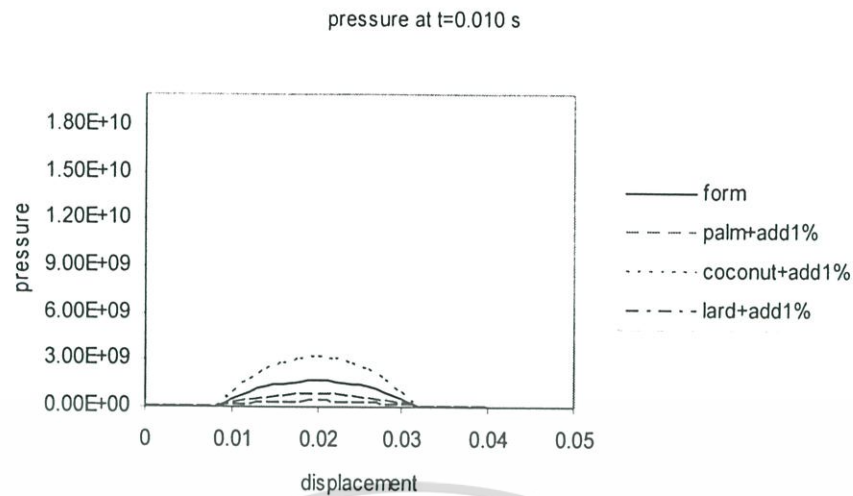
รูปที่ 10.12 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.008$ วินาที

pressure at t=0.010 s

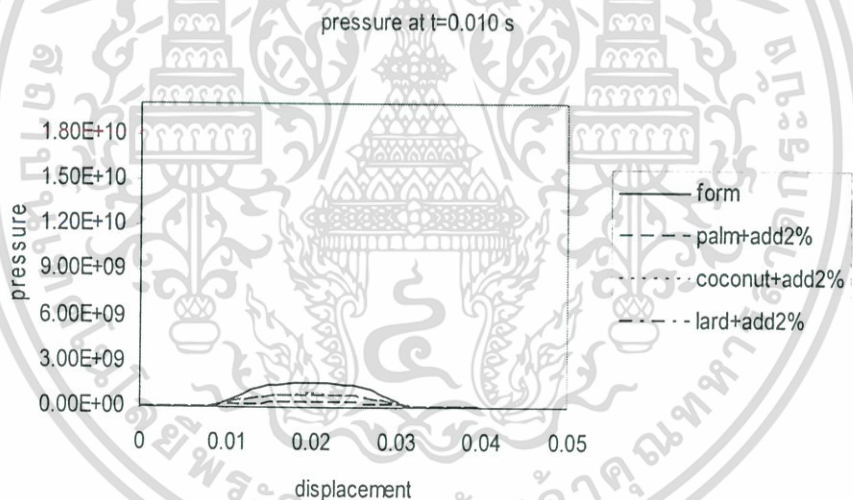


รูปที่ 10.13 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.010$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

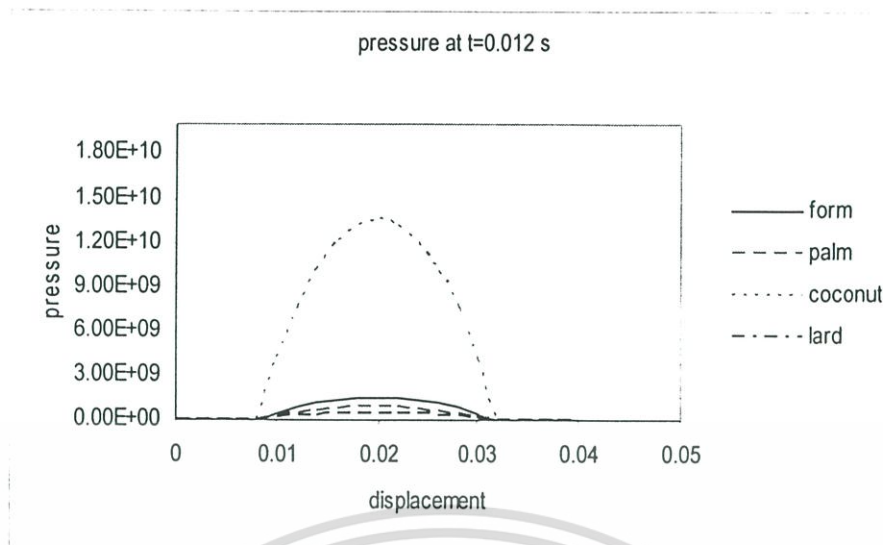


รูปที่ 10.14 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.010$ วินาที

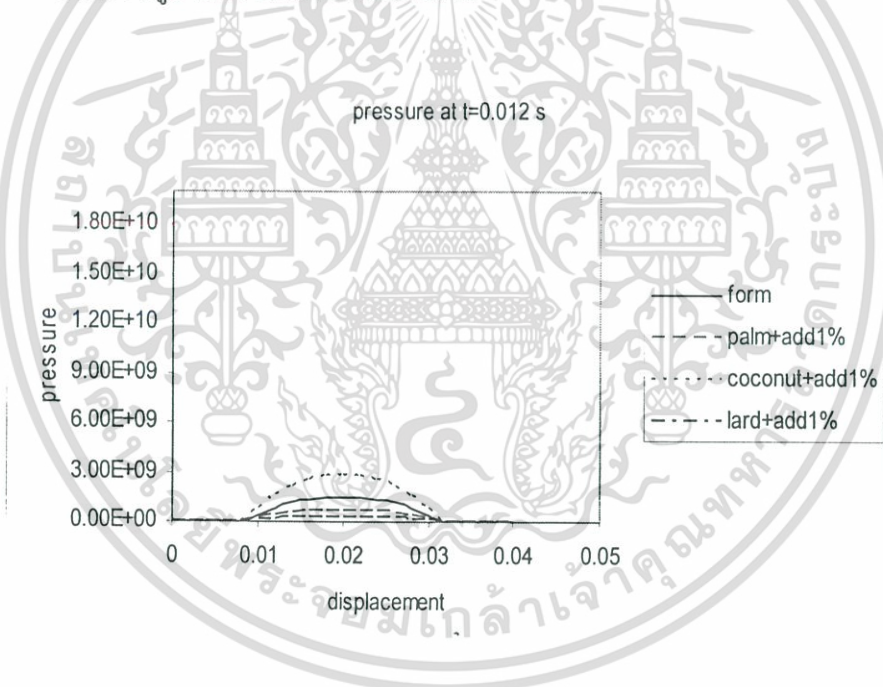


รูปที่ 10.15 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.010$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

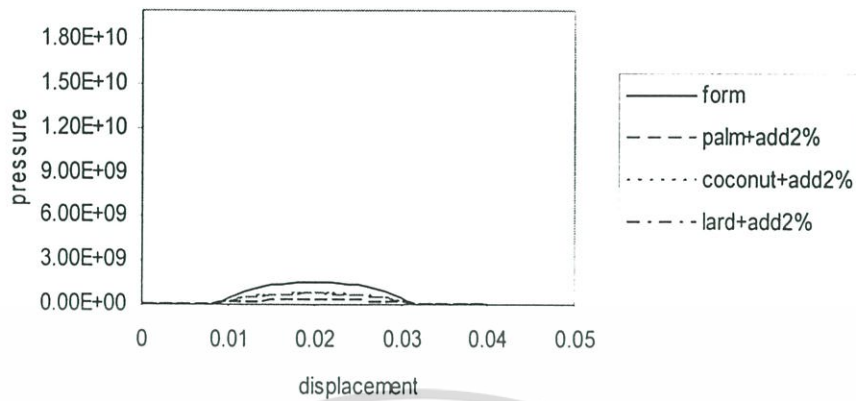


รูปที่ 10.16 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับ น้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.012$ วินาที

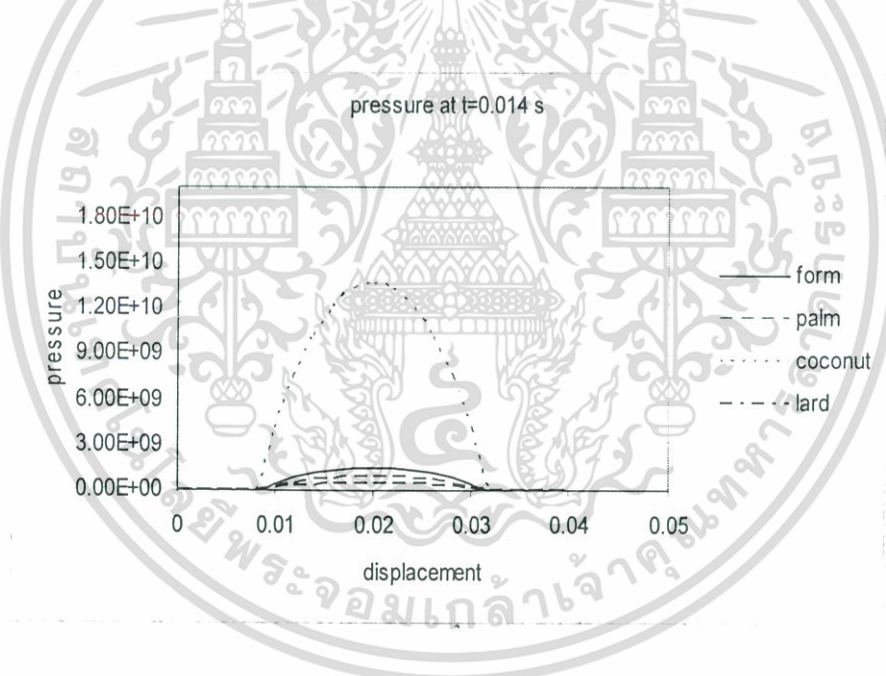


รูปที่ 10.17 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.012$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

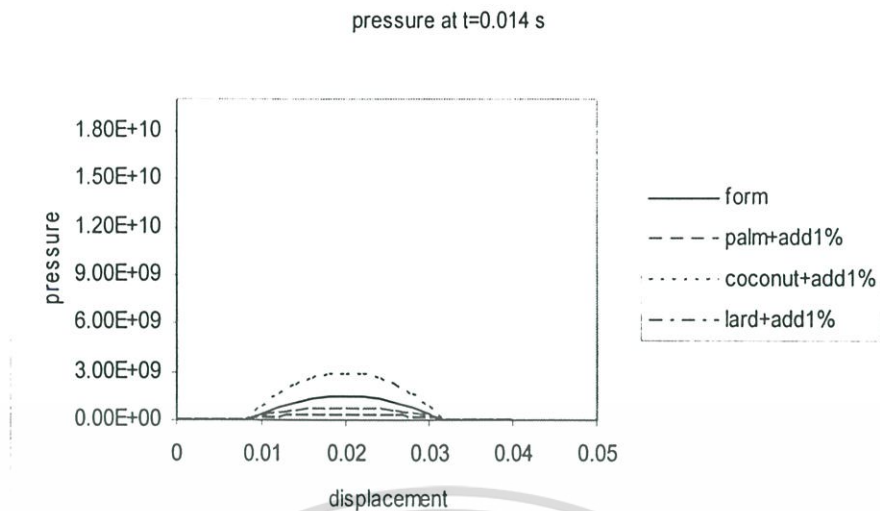
pressure at $t=0.012$ s

รูปที่ 10.18 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.012$ วินาที

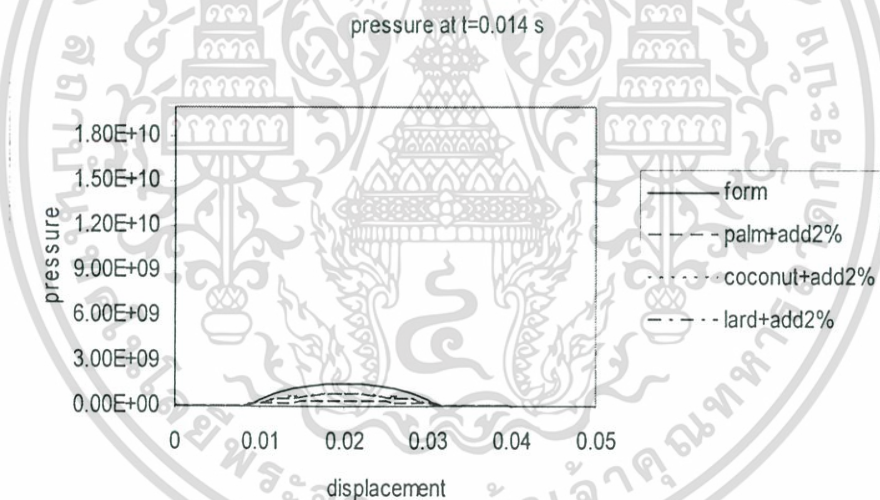


รูปที่ 10.19 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.014$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

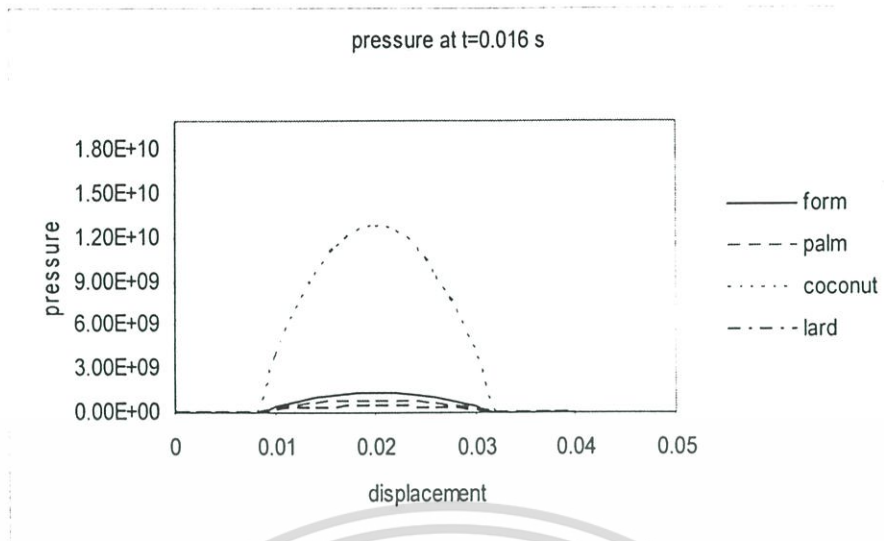


รูปที่ 10.20 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.014$ วินาที

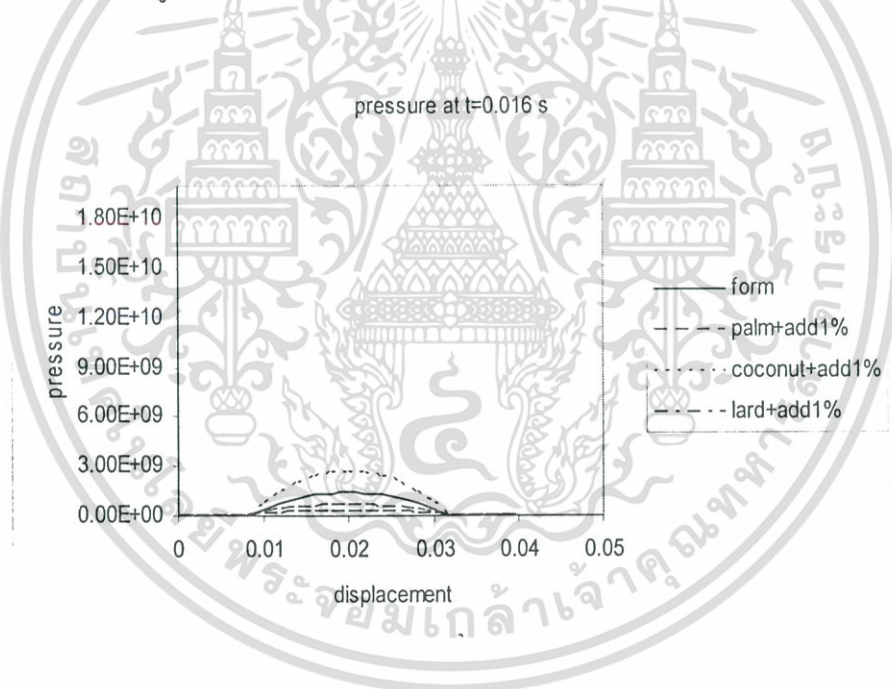


รูปที่ 10.21 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 2 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.014$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

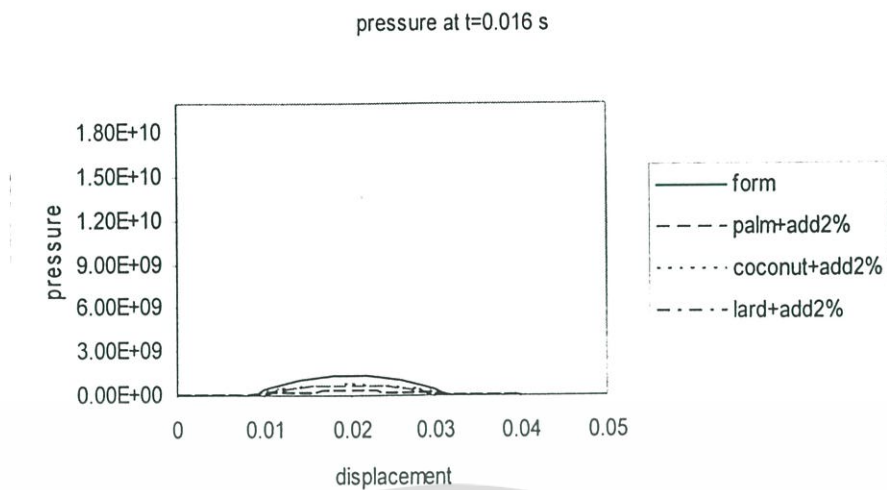


รูปที่ 10.22 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับ น้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.016$ วินาที

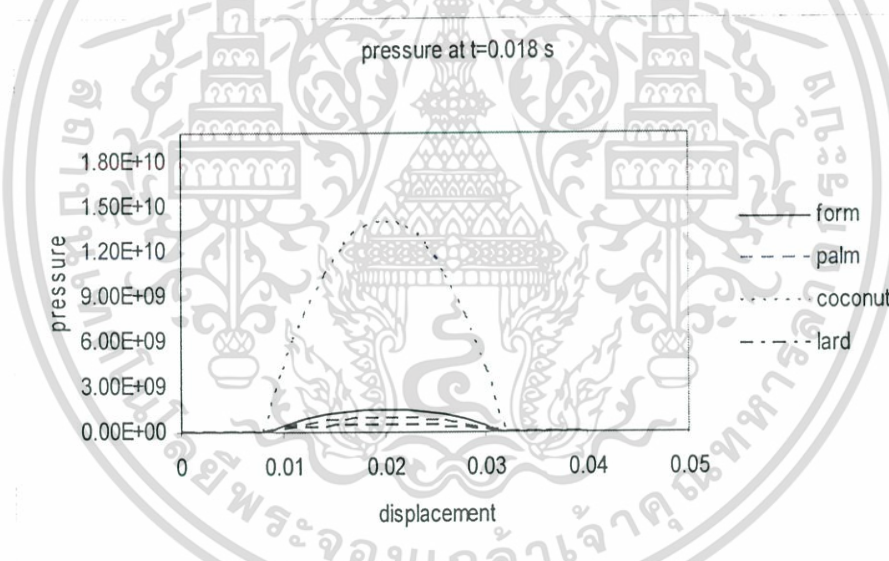


รูปที่ 10.23 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.016$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

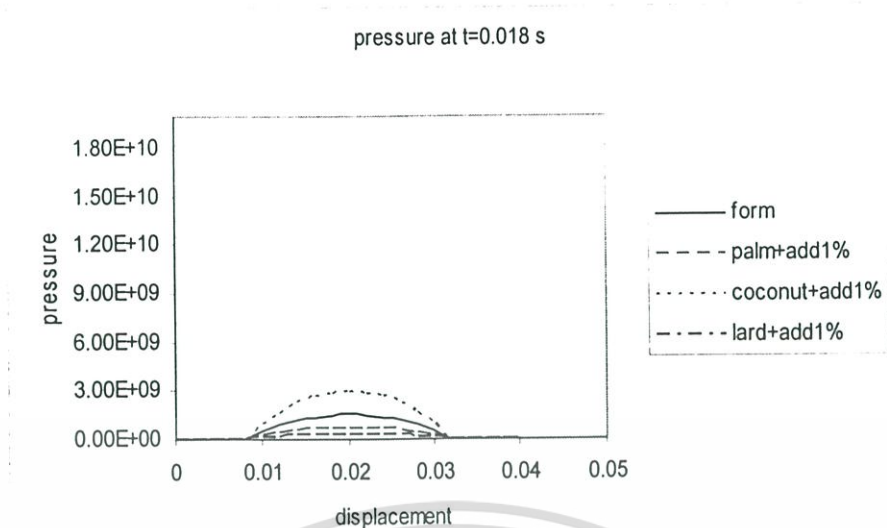


รูปที่ 10.24 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 2% เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.016$ วินาที

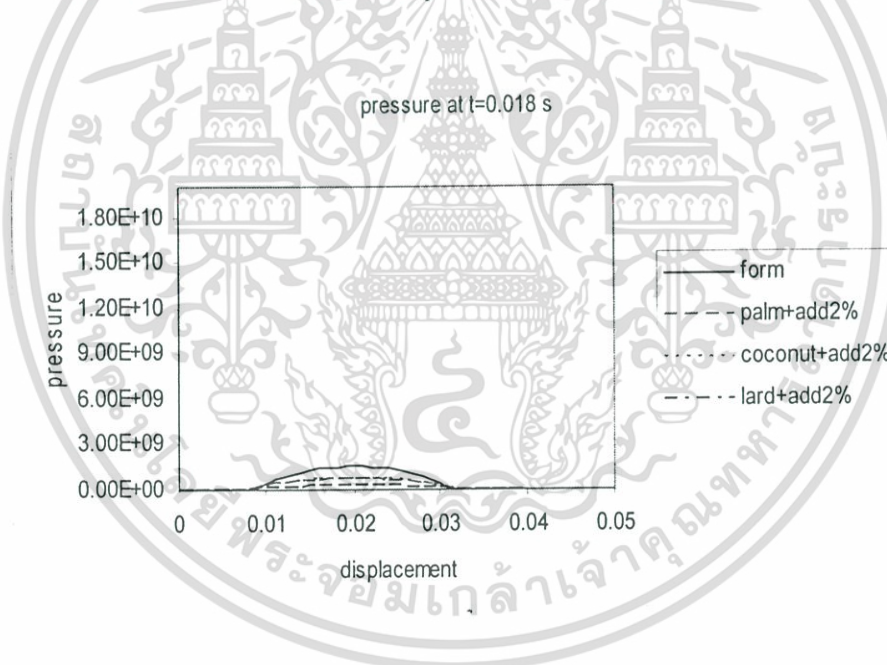


รูปที่ 10.25 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.018$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

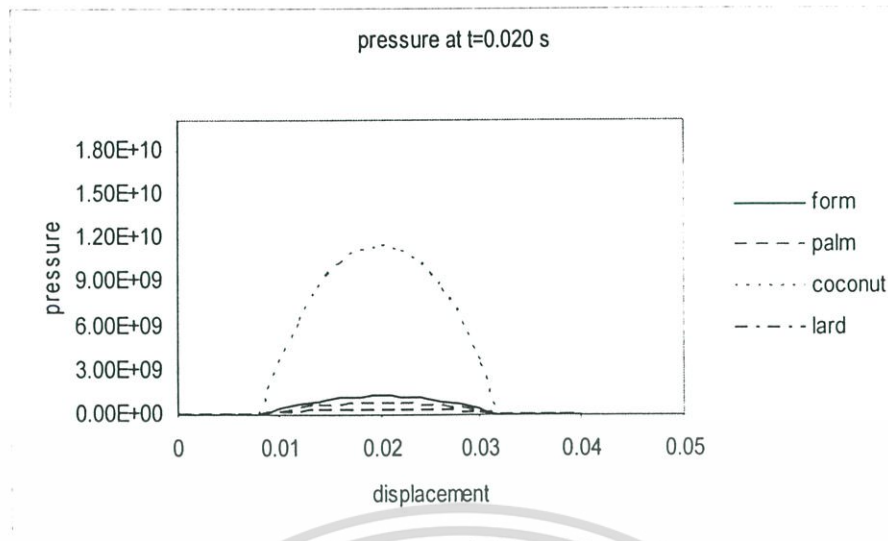


รูปที่ 10.26 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 1% เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.018$ วินาที



รูปที่ 10.27 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 2% เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.018$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



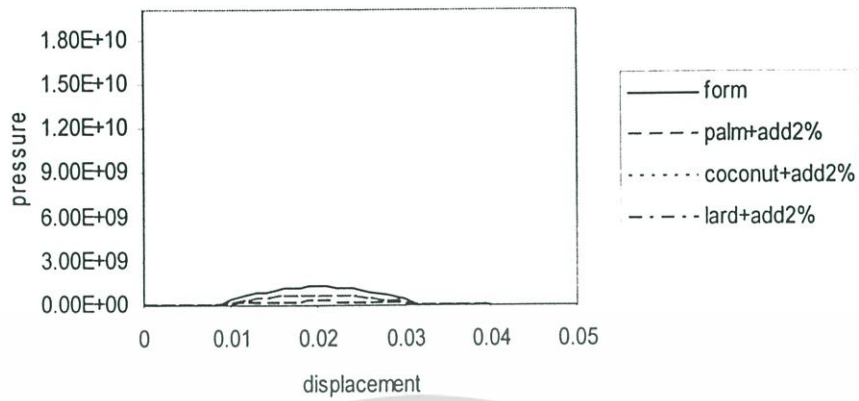
รูปที่ 10.28 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู เปรียบเทียบกับ น้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.020$ วินาที



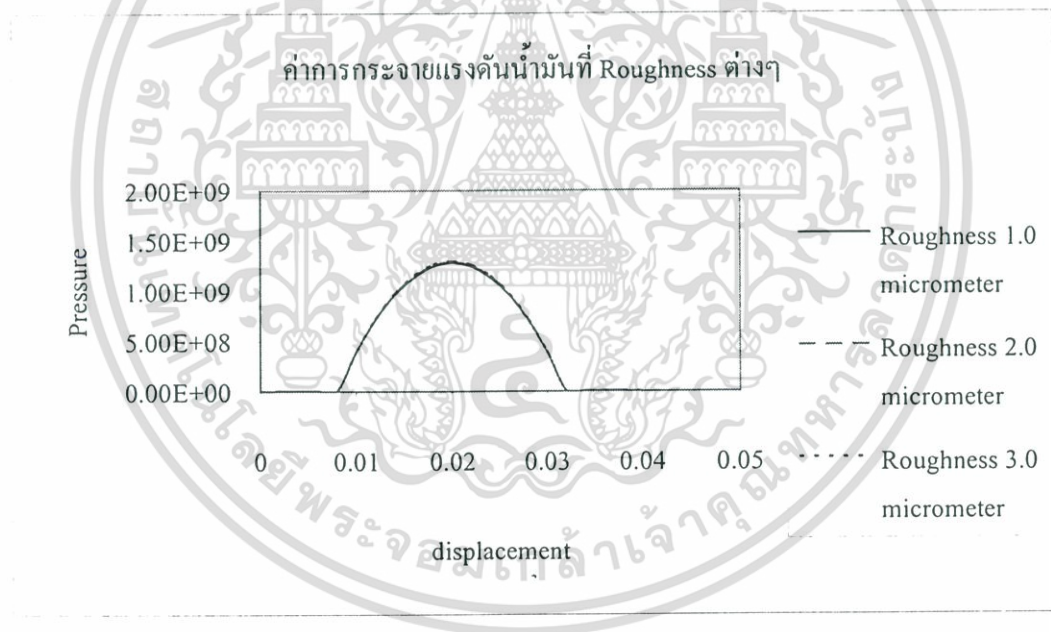
รูปที่ 10.29 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติม แต่ง 1 % เปรียบเทียบกับน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.020$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pressure at t=0.020 s

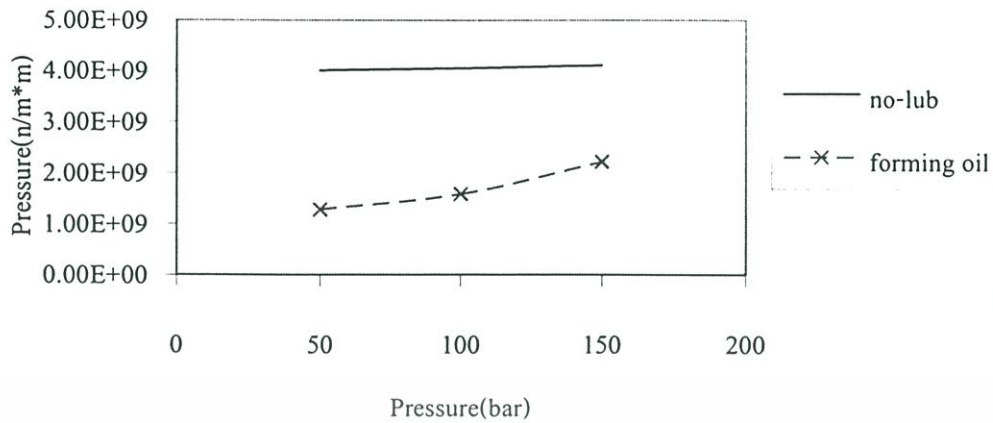


รูปที่ 10.30 ค่าการกระจายแรงดันของ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันหมู ที่ผสมสารเติมแต่ง 2% เปรียบเทียบกับน้ำมันชั้นรูปโลหะ ที่เวลา $t=0.020$ วินาที



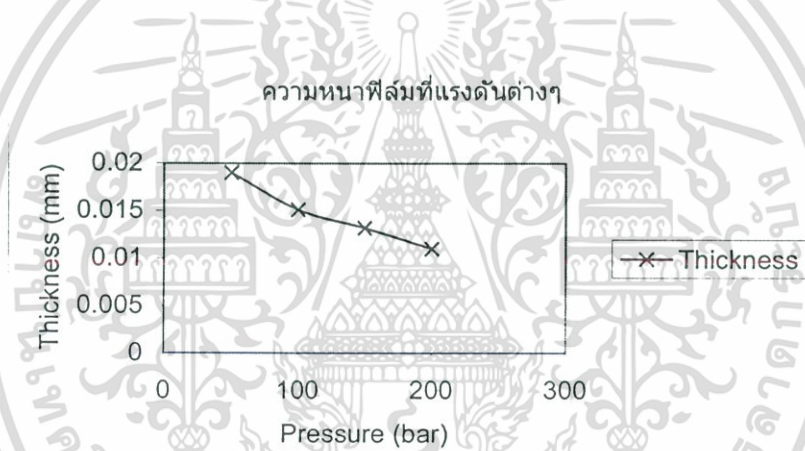
รูปที่ 10.31 ค่าการกระจายแรงดันน้ำมันที่ค่าความหยาบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



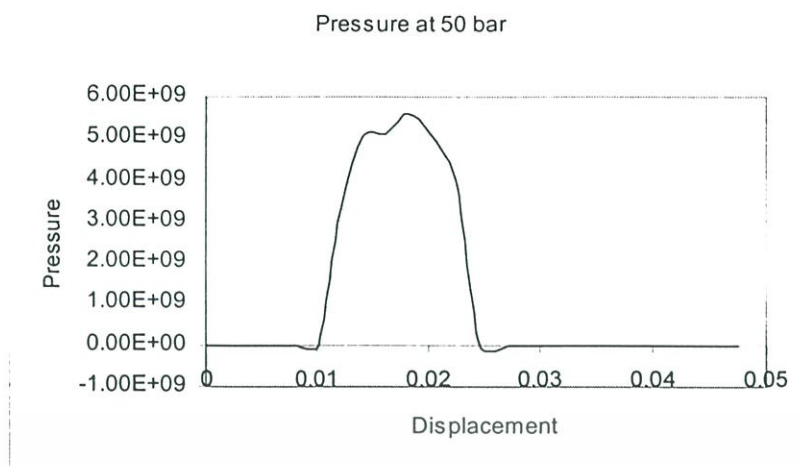
รูปที่ 10.32 ค่าการกระจายแรงดันของฟิล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นเมื่อกดแม่พิมพ์ลงด้วยความดันขนาดต่างๆ

ต่างๆ

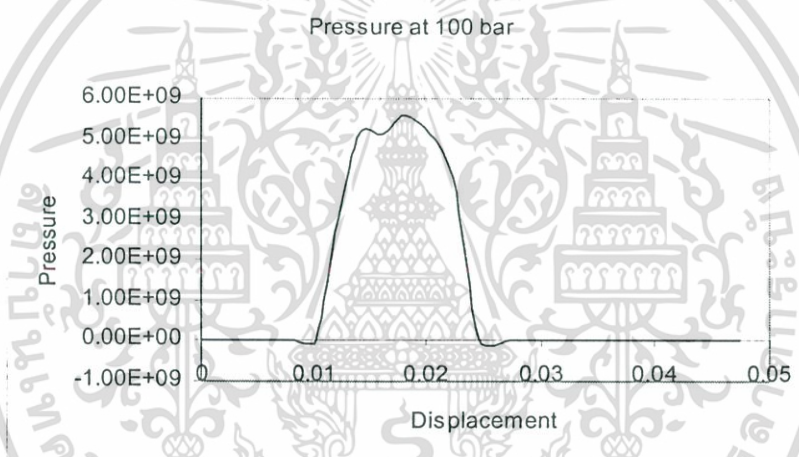


รูปที่ 10.33 ค่าความหนาฟิล์มน้ำมันเมื่อกดด้วยแรงดันขนาดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

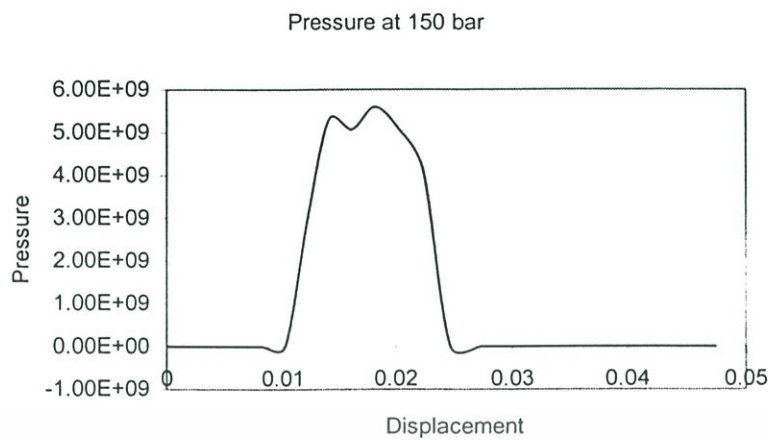


รูปที่ 10.34 ค่าการกระจายแรงดันของน้ำมันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้แรงกด 50 bar



รูปที่ 10.35 ค่าการกระจายแรงดันของน้ำมันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้แรงกด 100 bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10.36 ค่าการกระจายแรงดันของน้ำมันที่เกิดขึ้นเมื่อใช้แรงกด 150 bar

10.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองและผลการคำนวณ

1. จากผลการทดลองหาค่าความเค้นเฉือนของสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิ 40°C พบว่า สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันพืชที่ผสมสารเติมแต่ง EP 2 % และ ZDDP 2% จะให้ค่าความเค้นเฉือนใกล้เคียงน้ำมันปื้ขึ้นรูปโลหะหรือฟอร์มมิ่งออยล์มากที่สุด และในสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันหมูที่ไม่ได้ผสมสารเติมแต่งจะให้ค่าความเค้นเฉือน ใกล้เคียงน้ำมันปื้ขึ้นรูปโลหะหรือฟอร์มมิ่งออยล์มากที่สุด

2. จากผลการทดลองหาค่าความเค้นเฉือนของสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิ 100°C พบว่าทั้งสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันพืชและน้ำมันหมูที่ผสมสารเติมแต่ง EP 2 % และ ZDDP 2% จะให้ค่าความเค้นเฉือน ใกล้เคียงน้ำมันปื้ขึ้นรูปโลหะหรือฟอร์มมิ่งออยล์มากที่สุด

3. ผลการทดลองหาค่าความหนืดของสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิ 40°C พบว่า สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันพืชที่ผสมสารเติมแต่ง EP 2 % และ ZDDP 2% จะให้ค่าความหนืดใกล้เคียงน้ำมันปื้ขึ้นรูปโลหะหรือฟอร์มมิ่งออยล์มากที่สุด และในสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันหมูที่ไม่ได้ผสมสารเติมแต่ง จะให้ค่าความหนืดใกล้เคียงน้ำมันปื้ขึ้นรูปโลหะหรือฟอร์มมิ่งออยล์มากที่สุด

4. ผลการทดลองหาค่าความหนืดของสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิ 100°C พบว่าทั้งสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันพืชและน้ำมันหมูที่ผสมสารเติมแต่ง EP 2 % และ ZDDP 2% จะให้ค่าความเค้นเฉือน ใกล้เคียงน้ำมันปื้ขึ้นรูปโลหะหรือฟอร์มมิ่งออยล์มากที่สุด

5. ผลการทดลองหาค่าความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่นพบว่า สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันพืชที่ผสมสารเติมแต่ง EP 2 % และ ZDDP 2% จะให้ค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นใกล้เคียงน้ำมันปื้ขึ้นรูปโลหะหรือฟอร์มมิ่งออยล์มากที่สุด และในสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันหมูที่ไม่ได้ผสมสารเติมแต่ง จะให้ค่าความหนาฟิล์มใกล้เคียงน้ำมันปื้ขึ้นรูปโลหะหรือฟอร์มมิ่งออยล์มากที่สุด

6. จากการคำนวณหาค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ โดยนำค่าที่ได้จากการทดลอง ไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรม ABAQUS CAE เพื่อคำนวณหาค่าการกระจายแรงดันน้ำมันหล่อลื่นที่เกิดขึ้นในเวลาต่างๆ ขณะที่ทำการปั๊มขึ้นรูปโลหะ และใช้สมการเรโนด์ สมการความหนืดของพื้นผิวโลหะ และสมการความหนาฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นในการคำนวณ พบว่าสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันปาล์มที่ไม่ได้ผสมสารเติมแต่งชนิดใดเลย จะให้ค่าการกระจายแรงดันสารหล่อลื่นใกล้เคียงน้ำมันปั๊มขึ้นรูปโลหะหรือฟอร์มมิ่งออกซ์มากที่สุด โดยที่สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันมะพร้าวที่ไม่ได้ผสมสารเติมแต่ง จะให้ค่าการกระจายแรงดันมากที่สุด และสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันที่ผสมสารเติมแต่ง EP 2 % และ ZDDP 2% จะให้ค่าการกระจายแรงดันน้อยที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 11

สรุป

11.1 สรุป

บทความนี้เป็น การนำเสนอ การศึกษาพฤติกรรมของการบีบอัดรูปโลหะ ที่หล่อด้วยสารหล่อลื่นชนิดนิวโตเนียน และ นอนนิวโตเนียน เพื่อทดลองและพิจารณาค่าการกระจายแรงดันสารหล่อลื่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการบีบอัดรูปโลหะ พบว่า

1. ในสารหล่อลื่นชนิดเดียวกันเมื่อความเค้นเฉือนเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นลดลง
2. ในสารหล่อลื่นชนิดเดียวกันเมื่อความหนืดเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นลดลง
3. เมื่อความหนืดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความหนาฟิล์มเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นลดลง
4. สารเติมแต่งมีผลทำให้ค่าความเค้นเฉือนเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนืดเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่นเพิ่มมากขึ้น และทำให้ค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นลดลง

11.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลองมีเพียงชิ้นเดียว จึงสามารถวัดความหนาฟิล์ม น้ำมันหล่อลื่นที่เกิดขึ้นระหว่างแม่พิมพ์และชิ้นงาน ได้เพียงค่าเดียว ถ้ามีแม่พิมพ์รูปร่างและขนาดที่ต่าง ๆ กันหลายชิ้น การทดลองนี้ก็จะสามารถหาค่าความหนาฟิล์มน้ำมันที่เกิดขึ้นได้หลายค่า ซึ่งความหนาฟิล์มน้ำมันแต่ละค่าที่เกิดขึ้นก็มีผลต่อค่าการกระจายแรงดันน้ำมัน

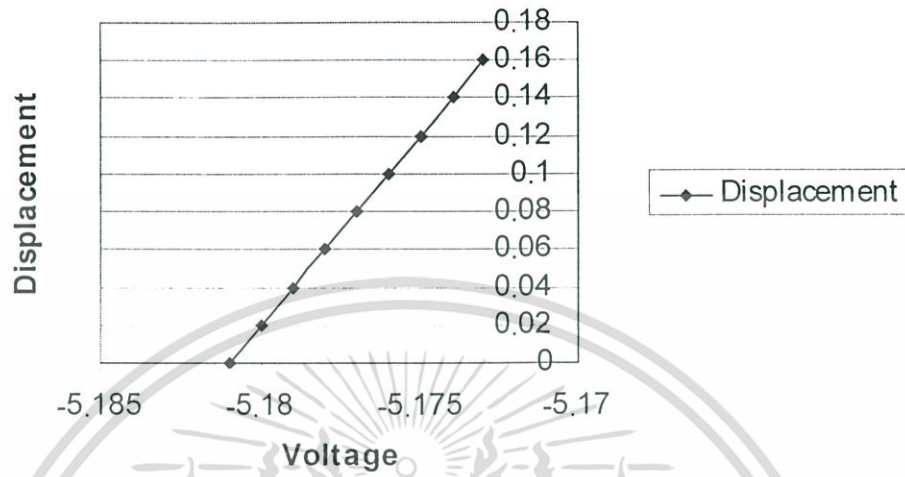
เอกสารอ้างอิง

1. Reynolds, O. 1886 On the Theory of Lubrication and its Application to Mr. Beachamp Tower's Experiments. Phil,Trans.Roy.Soc.,177,1886.
2. Horowitz,H.H, and Steidler,F.E. 1961. Calculated performance of Non-Newtonian Lubrication in finite Width Journal Bearing.ASLE Tran.Vol.4.
3. Tanner,R.I.,1963. Non-Newtonian Lubrication Theory and its Application to the Shot Journal Bearing. Australian Journal of Applied Science,vol.14.
4. Hamrock, B.J. 1994. Fundamentals of Fluid Film Lubrication .McGraw-Hill.
5. Wilson, W.R.D., Hsu,T-C ,and Huang, X.B. ,1995 . A Realistic Friction Model for Computer Simulation of Sheet Metal Forming Processes. ASME .Trans, vol.117.
6. Safar,Z.S.1979.Journal Bearing Operating with Non-Newtonian Lubricat Films.WEAR,vol.53.
7. Wilson ,W.R.D.,1997.Tribology in Cold Metal Forming .ASME,Trans , vol.119.
8. Ranny,M.W.,1973.Lubricant Additives.Noyes Data Co:London.
9. Schey,J.A.1984.Tribology in Metalworking: Friction,Lubrication and Wear,American Society for Metals:Ohio.
10. Hashimoto H. ,Mongkolwongroj M.1992. Lubrication Theory.KMITL Bangkok.
11. Olds,J.1973. Lubricants, Cutting Fluids & Coolants. Cahners book.
12. Stachowick,G.W.,Batchlor,A.W.1993.Engineering Tribology.Elsevier science publishers:Natherlands.
13. Bieley,C.A.,and Anrovs.,The Lubrication Engineering Manual.1 th ed.U.S.A.:United States steel Co.,197.
14. Szeri, A.Z.,1980.Tribology:friction,lubrication and wear.Mc Graw Hill Co:Newyork.
15. กองน้ำมันเชื้อเพลิง.2538, สรุปการผลิต การนำเข้าและการจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงประจำปี 2538: กรมทะเบียนการค้า
16. กองน้ำมันเชื้อเพลิง.2539, สรุปการผลิต การนำเข้าและการจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงประจำปี 2539: กรมทะเบียนการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

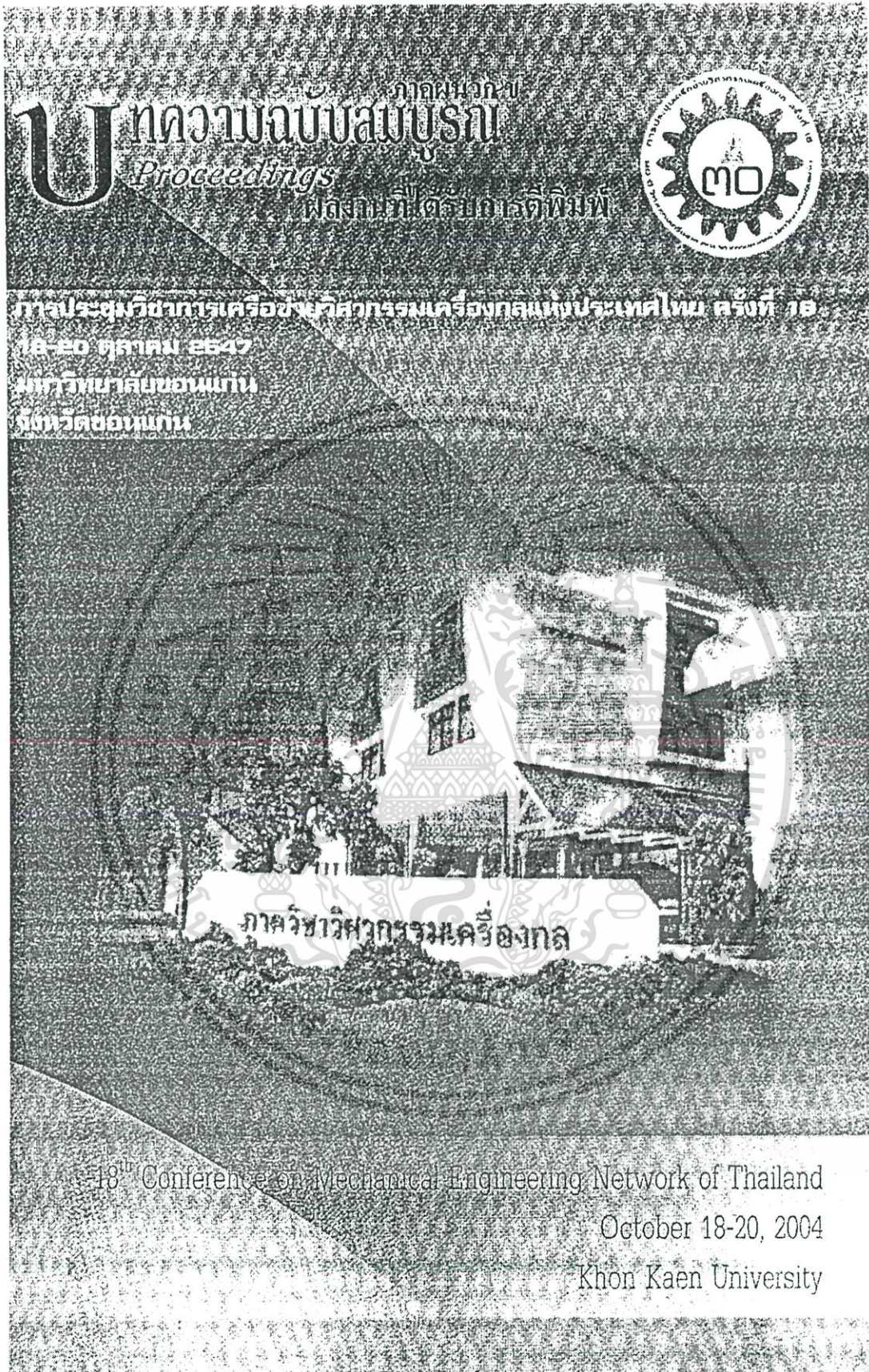
ภาคผนวก ก

กราฟแสดง Calibration curve ของ Gapsensor



รูปที่ ก.1 แสดง Calibration curve ของ Gapsensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤติกรรมการหล่อลื่นสำหรับกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะ Lubrication Characteristics for Metal Forming Process

ดาวรัตน์ ปัญญาญจน์¹ มงคล มงคลวงศ์โรจน์² ประสิทธิ์ พันคำยิม³
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ReCCIT คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขต ลาดกระบัง จังหวัด กรุงเทพมหานคร 10520
โทร 0-23264197 โทรสาร 0-23264198 E-mail: yodrukaa@hotmail.com¹, kmmongko@kmitl.ac.th²

Daorut Panyakarn¹ Mongkol Mongkolwongrojn² Prasit Pankamyim³
Department of Mechanical Engineering ReCCIT, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
Tel: 0-23264197 Fax: 0-23264198 E-mail: yodrukaa@hotmail.com¹, kmmongko@kmitl.ac.th²

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการหล่อลื่นของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะที่หล่อลื่นด้วยสารหล่อลื่นชนิดนิวตอเนียนและนอนนิวตอเนียน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาสารหล่อลื่นชนิดอื่นที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันปั๊มขึ้นรูปโลหะหรือฟอร์มมิ่งออยล์มาใช้ทดแทน โดยทำการทดลองเพื่อหาค่าความเค้นเฉือน อัตราการเฉือน ความหนืด และความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่น และสารหล่อลื่นผสมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ แล้วนำมาประมาณค่าของโมเดล และค่าดัชนีของเพาเวอร์ลอกจากนั้นนำมาคำนวณ โดยการประมาณโมเดลทางคณิตศาสตร์แล้วประยุกต์ใช้สมการเรโนลด์ สมการความหนาของฟิล์มโลหะ และสมการความหนาฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น เพื่อคำนวณหาการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นของสารต่างๆ โดยโลหะจะถูกแปรสภาพจากแผ่นเรียบเป็นภาชนะรูปถ้วย จากผลการคำนวณและผลการทดลอง จะพบว่าเมื่อแม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน จะทำให้เกิดฟิล์มสารหล่อลื่นอยู่ระหว่างพื้นผิวทั้งสอง และเกิดการกระจายแรงดันในฟิล์มสารหล่อลื่นขึ้น และพบว่าความหนาฟิล์มและความหนืดของสารหล่อลื่น มีผลต่อการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะ

to obtain the film distribution. The results show that pressure distribution can be generated in the fluid film between two surfaces when the surfaces are moving toward each other. Film thickness and viscosity have significantly effected the performance characteristic of metal forming process.

1. บทนำ

ความเสียหายเนื่องจากแรงกระแทกที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์ลงมายังชิ้นงานในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะ จะทำให้เกิดการสึกหรอ และมีผลทำให้แม่พิมพ์และชิ้นงานเกิดการชำรุดเสียหาย ความเสียหายดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการใช้สารหล่อลื่น[3-5] สารหล่อลื่นจะทำให้เกิดฟิล์มสารหล่อลื่นระหว่างชิ้นงานและแม่พิมพ์ ซึ่งช่วยลดการสึกหรอที่เกิดขึ้น และยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดรอยขีดข่วนที่ผิวของชิ้นงานทำให้ผิวของชิ้นงานเรียบสวย สารหล่อลื่นที่นิยมใช้โดยทั่วไปได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นที่เป็นสารสังเคราะห์ หรือ ฟอร์มมิ่งออยล์ เป็นต้น การเลือกใช้สารหล่อลื่น ควรคำนึงถึงการเลือกชนิดของสารหล่อลื่นให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยพิจารณาจากภาระ และความเร็วของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการกดชิ้นงาน และพิจารณาจากชิ้นงานว่าเป็นโลหะชนิดใด ซึ่งเหมาะสมกับสารหล่อลื่นชนิดใด ในบทความนี้ได้ศึกษาคุณสมบัติของสารหล่อลื่นชนิด นิวตอเนียน และ นอนนิวตอเนียน ที่ใช้ในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะ โดยขณะที่เกิดการปั๊มขึ้นรูปโลหะสารหล่อลื่นจะอยู่ระหว่างแม่พิมพ์และชิ้นงาน ทำให้เกิดความหนาของฟิล์มของสารหล่อลื่น จะทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างแม่พิมพ์และชิ้นงาน และได้ศึกษาถึงการกระจายของแรงดันที่เกิดขึ้นในฟิล์มน้ำมันที่ใช้หล่อลื่นในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะ โดยทั่วไปแล้วการกระจายของแรงดันสามารถพบได้ในของไหล ที่อยู่ระหว่างพื้นผิวสองพื้นผิว และเมื่อพื้นผิวนั้นเคลื่อนที่เข้าหากันจะทำให้เกิดฟิล์มน้ำมันอยู่ระหว่างพื้นผิวทั้งสอง และเกิดการกระจายของแรงดันในฟิล์มสารหล่อ

Abstract

This research work describes the theoretical characteristic of the lubrication for metal forming process with Newtonian and Non-Newtonian lubricants. Both power law model index and the relationship between shear stress and shear rate as well as viscosity and shear rate were obtained experimentally. The model of Newtonian and Non-Newtonian lubricants were implemented to obtain the modified Reynolds equation included roughness effects. Film thickness distribution is also derived. Minimum film thickness was measured using gap sensor in order

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ้นนั้นขึ้น ซึ่งการกระจายของแรงดันที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความหนาฟิล์มและความหนืดของสารหล่อลื่นแต่ละชนิด

$$\phi_s = 1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\sigma}{h} \right)^2 \tag{4}$$

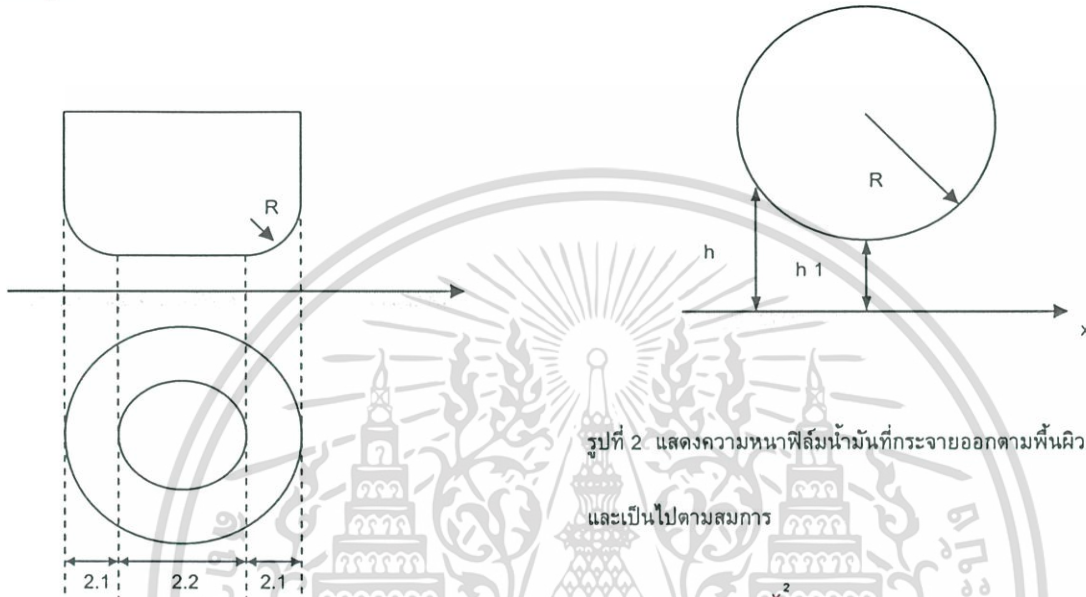
$$\phi_s = \frac{3}{2} \frac{\sigma}{h} \frac{\sigma_1^2 - \sigma_2^2}{\sigma^2}$$

2. การคำนวณ

การคำนวณถึงการกระจายแรงดันที่เกิดขึ้นในฟิล์มสารหล่อลื่นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

- 2.1 บริเวณส่วนโค้งด้านข้างของถ้วย[2]
 - 2.2 บริเวณแผ่นกลมแบนราบที่เป็นส่วนพื้นของถ้วย[1]
- ดังแสดงในรูปที่ 1

ในบริเวณส่วนโค้งของการบีบขึ้นรูปโลหะความหนาฟิล์มน้ำมันจะกระจายออกตามพื้นผิวส่วนโค้งดังรูปที่2



รูปที่ 2 แสดงความหนาฟิล์มน้ำมันที่กระจายออกตามพื้นผิวส่วนโค้งและเป็นไปตามสมการ

$$h = h_1 + \frac{x^2}{2R} \tag{5}$$

รูปที่ 1 แสดงรูปร่างและส่วนต่างๆของชิ้นงานที่ใช้ในการคำนวณ

กำหนดสมการเงื่อนไข

2.1 บริเวณส่วนโค้งด้านข้างของถ้วย

$$x=0, h=h_1, p=p_0, \partial p/\partial x=0, x=\infty, h=\infty, p=0 \tag{6}$$

สมการเรโนลด์ที่ใช้คือ

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^{n+2}}{12mn} \frac{\partial p}{\partial x} \right) = (U_1)^n \frac{\partial h}{\partial x} \tag{1}$$

เพื่อให้ความยุ่งยากในการคำนวณน้อยลงสมมติให้เป็นภาวะ steady state และไม่เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของแผ่นโลหะ เมื่อแทนค่าสมการ (3) ถึงสมการ (5) ลงในสมการ (2) แล้วอินทิเกรตตามเงื่อนไข (6)

เมื่อคิดว่าพื้นที่ผิวสัมผัสมีความหยาบ

$$\left(1 - \frac{3}{2} \left(\frac{\sigma}{h} \right)^2 \right) \frac{h^{n+2}}{12mn} \frac{\partial p}{\partial x} = U_1^n \frac{x^2}{2R} + \frac{3}{4} (U_1 - U_2)^n (\sigma_1^2 - \sigma_2^2) \left(\frac{1}{h} - \frac{1}{h_1} \right) \tag{7}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\phi_s \frac{h^{n+2}}{12mn} \frac{\partial p}{\partial x} \right) = U_1^n \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{(U_1 - U_2)^n}{2} \sigma \frac{\partial \phi_s}{\partial x} \tag{2}$$

2.2 บริเวณแผ่นกลมแบนราบที่เป็นส่วนพื้นของถ้วย

ค่าความหยาบของพื้นผิว

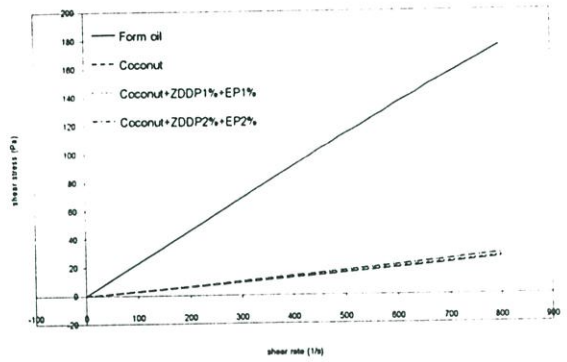
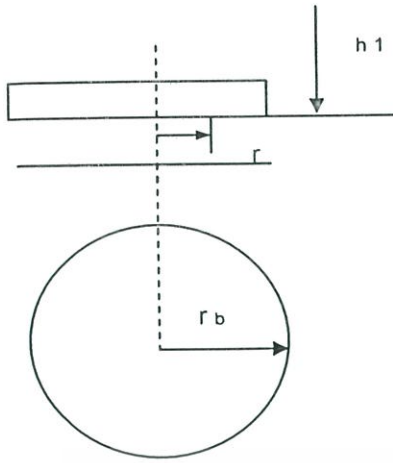
ดังแสดงในรูปที่ 3 ถ้าพื้นผิวขนานแกนสมมาตรและความดันเป็นฟังก์ชันของรัศมีดังนั้น

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \tag{3}$$

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r h_1^{n+2} \frac{\partial p}{\partial r} \right) = -12 mnrU \tag{8}$$

pressure และ shear flow factor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 แสดงพื้นที่บริเวณแผ่นกลมแบนราบที่เป็นส่วนหนึ่งของถั่ว

เมื่อคิดว่าพื้นที่ผิวสัมผัสมีความหยาบ

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\phi_x r h_1^{n+2} \frac{\partial p}{\partial r} \right) = -12mnrU \quad (9)$$

กำหนดสมการเงื่อนไข

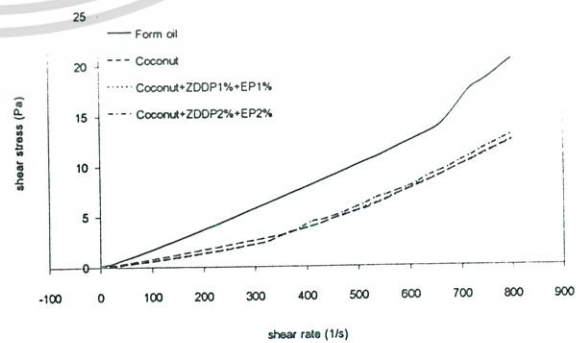
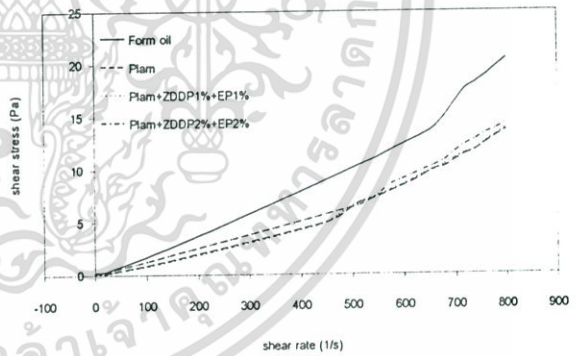
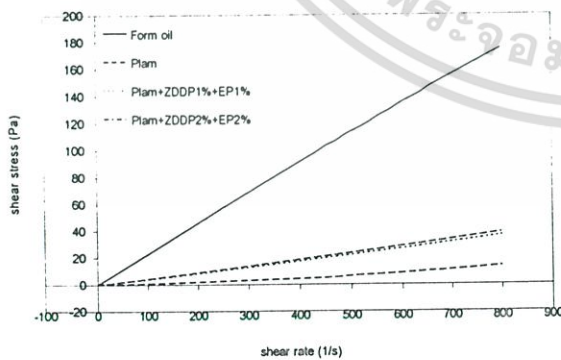
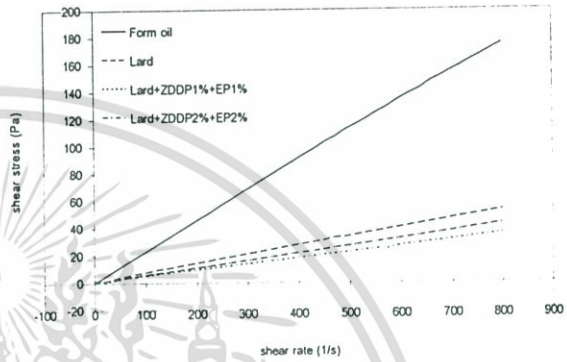
$$r=0, \partial p/\partial r=0, r=r_b, h=\infty, p=0 \quad (10)$$

จะได้

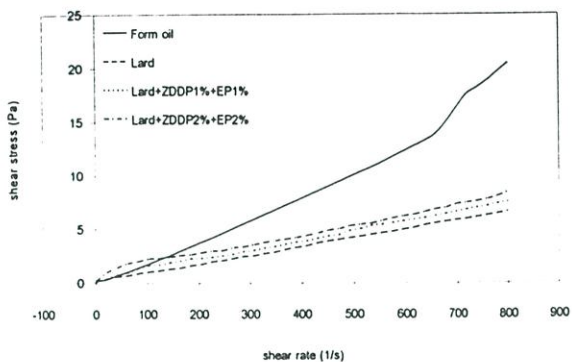
$$p = \frac{3mnU}{\phi_x h_1^{n+2}} \left(r_b^2 - r^2 \right) \quad (11)$$

3. ผลการทดลอง

รูปที่ 3.1 ผลการทดลองหาค่าความเค้นเฉือนของสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิ 40°C

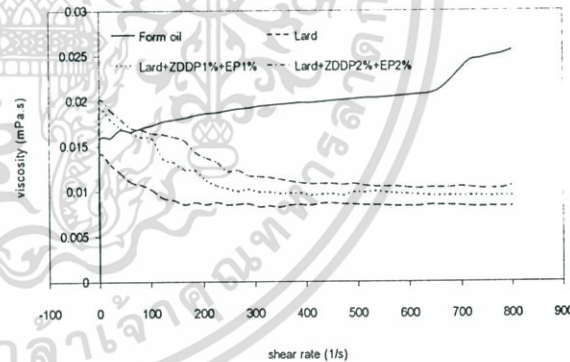
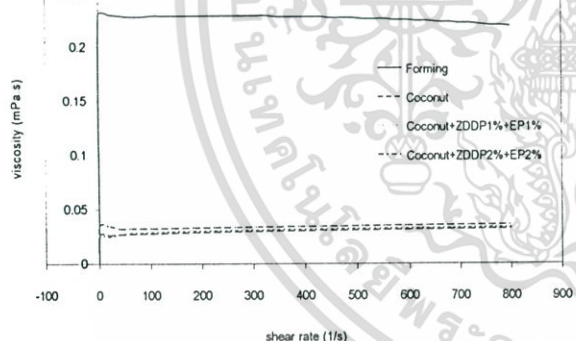
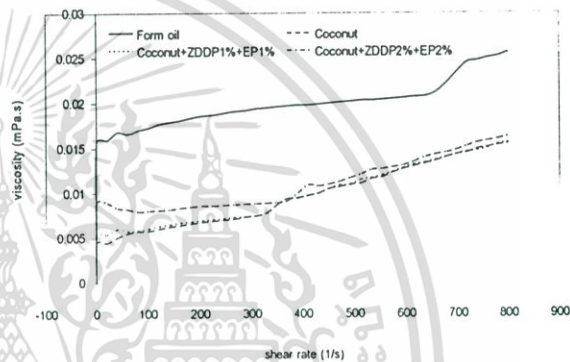
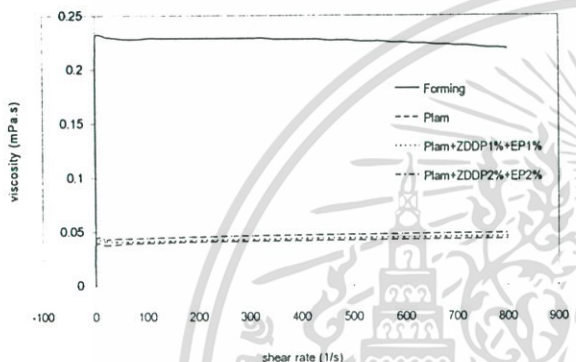
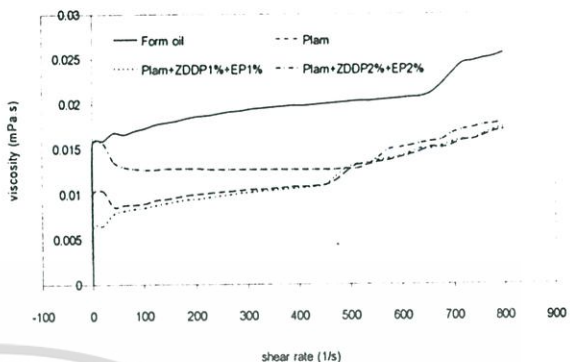


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

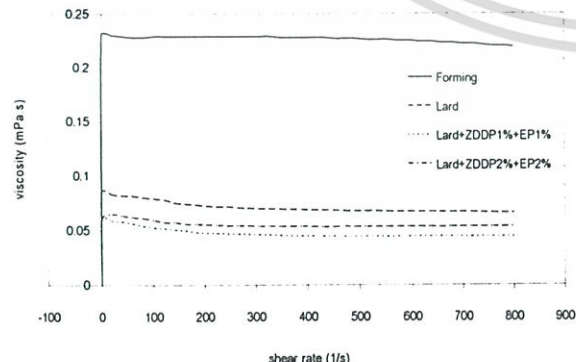


รูปที่ 3.2 ผลการทดลองหาค่าความเค้นเฉือนของสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิ 100° C

รูปที่ 3.3 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิ 40° C



รูปที่ 3.4 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิ 100° C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะหรือพอร์ซิมมิ่งออยล์มากที่สุด และในสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันหมูที่ไม่ได้ผสมสารเติมแต่งจะให้ค่าความเค้นเฉือน ไกล่เคียงน้ำมันบีบขึ้นรูปโลหะหรือพอร์ซิมมิ่งออยล์มากที่สุด และจากรูป 3.2 ผลการทดลองหาค่าความเค้นเฉือนของสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิ 100 °C พบว่าทั้งสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันพืชและน้ำมันหมูที่ผสมสารเติมแต่ง EP 2 % และ Zddp 2% จะให้ค่าความเค้นเฉือน ไกล่เคียงน้ำมันบีบขึ้นรูปโลหะหรือพอร์ซิมมิ่งออยล์มากที่สุด จากรูป 3.3 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิ 40 ° C พบว่า สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันพืชที่ผสมสารเติมแต่ง EP 2 % และ Zddp 2% จะให้ค่าความหนืดใกล้เคียงน้ำมันบีบขึ้นรูปโลหะหรือพอร์ซิมมิ่งออยล์มากที่สุด และในสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันหมูที่ไม่ได้ผสมสารเติมแต่ง จะให้ค่าความหนืดใกล้เคียงน้ำมันบีบขึ้นรูปโลหะหรือพอร์ซิมมิ่งออยล์มากที่สุด และจากรูป 3.4 ผลการทดลองหาค่าความหนืดของสารหล่อลื่นที่อุณหภูมิ 100°C พบว่าทั้งสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันพืชและน้ำมันหมูที่ผสมสารเติมแต่ง EP 2 % และ Zddp 2% จะให้ค่าความเค้นเฉือน ไกล่เคียงน้ำมันบีบขึ้นรูปโลหะหรือพอร์ซิมมิ่งออยล์มากที่สุด และจากรูป 3.5 ผลการทดลองหาค่าความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่นพบว่า สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันพืชที่ผสมสารเติมแต่ง EP 2 % และ Zddp 2% จะให้ค่าความหนาฟิล์มสารหล่อลื่นใกล้เคียงน้ำมันบีบขึ้นรูปโลหะหรือพอร์ซิมมิ่งออยล์มากที่สุด และในสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันหมูที่ไม่ได้ผสมสารเติมแต่ง จะให้ค่าความหนาฟิล์มใกล้เคียงน้ำมันบีบขึ้นรูปโลหะหรือพอร์ซิมมิ่งออยล์มากที่สุด และจากการคำนวณหาค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นชนิดต่างๆ โดยการประยุกต์ใช้สมการเรโนลด์ สมการความหยาบของพื้นผิวโลหะ และสมการความหนาฟิล์ม น้ำมันหล่อลื่น พบว่าสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันปาล์มที่ไม่ได้ผสมสารเติมแต่งชนิดใดเลย จะให้ค่าการกระจายแรงดันสารหล่อลื่นใกล้เคียงน้ำมันบีบขึ้นรูปโลหะหรือพอร์ซิมมิ่งออยล์มากที่สุด โดยที่สารหล่อลื่นชนิดน้ำมันมะพร้าวที่ไม่ได้ผสมสารเติมแต่ง จะให้ค่าการกระจายแรงดันมากที่สุด และสารหล่อลื่นชนิดน้ำมันหมูที่ผสมสารเติมแต่ง EP 2 % และ Zddp 2% จะให้ค่าการกระจายแรงดันน้อยที่สุด

6. สรุป

บทความนี้เป็น การนำเสนอ การศึกษาพฤติกรรมของน้ำมันขึ้นรูปโลหะ ที่หล่อลื่นด้วยสารหล่อลื่นชนิดนิวตอเนียน และ นอนนิวตอเนียน เพื่อทดลองและพิจารณาค่าการกระจายแรงดันสารหล่อลื่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการบีบขึ้นรูปโลหะ พบว่า

1. ในสารหล่อลื่นชนิดเดียวกันเมื่อความเค้นเฉือนเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นลดลง
2. ในสารหล่อลื่นชนิดเดียวกันเมื่อความหนืดเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นลดลง
3. เมื่อความหนืดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความหนาฟิล์มเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นลดลง
4. สารเติมแต่งมีผลทำให้ค่าความเค้นเฉือนเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนืดเพิ่มมากขึ้น ค่าความหนาฟิล์มของสารหล่อลื่นเพิ่มมากขึ้น และทำให้เกิดค่าการกระจายแรงดันของสารหล่อลื่นลดลง

7. สัญลักษณ์

A =	ค่าคงที่จากการอินทิเกรต
B =	ค่าคงที่จากการอินทิเกรต
U_1 =	ความเร็วของแม่พิมพ์
U_2 =	ความเร็วของชิ้นงาน
U =	ความเร็วเฉลี่ยของแม่พิมพ์และชิ้นงาน
R =	รัศมีความโค้งด้านข้าง
h =	ความหนาฟิล์มที่ส่วนโค้ง
h_1 =	ความหนาฟิล์ม
l =	เส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นกลม
L =	ระยะทางที่วัดความหยาบ
m =	ค่าคงที่ของโมเดล
n =	ค่าดัชนีเพาเวอร์ลอ
p =	ความดัน
r =	ระยะต่างๆ บนแผ่นกลม
r_b =	รัศมีของแผ่นกลม
x =	ระยะทางตามแนวแกน
y =	ระยะความสูงต่ำผิวตามแนวตั้งฉาก
μ =	ความหนืด
σ_1 =	ความหยาบที่ผิวของแม่พิมพ์
σ_2 =	ความหยาบที่ผิวของชิ้นงาน
σ =	ความหยาบเฉลี่ยที่ผิวของแม่พิมพ์และชิ้นงาน
ϕ_s =	shear flow factor
ϕ_x =	pressure flow factor

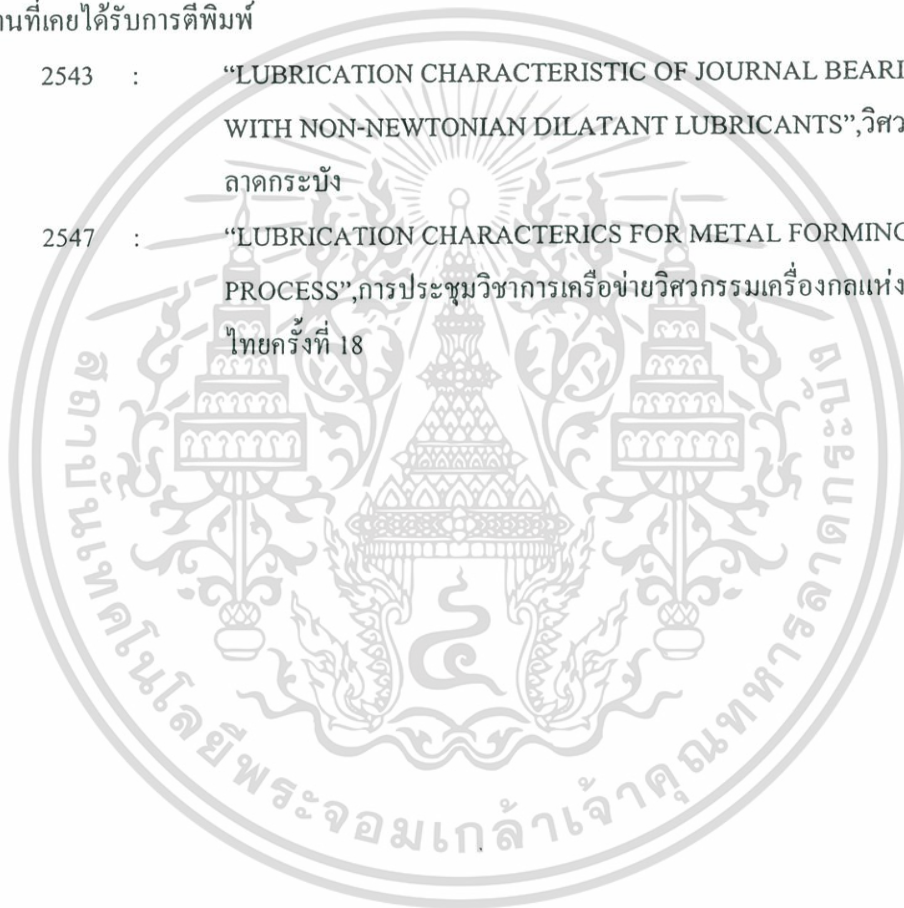
เอกสารอ้างอิง

- [1] B.J. Hamrock , " Fundamentals of Fluid Film Lubrication , " McGraw-Hill , 1994.
- [2] W.R.D. Wilson , T-C. Hsu , X - B. Huang , " A Realistic Friction Model for Computer Simulation of Sheet Metal Forming Processes," Trans. of the ASME J.of Engineering for Industry, vol.117,1995.
- [3] W.R.D. Wilson , " Tribology in Cold Metal Forming , " Trans. of the ASME J. of Manufacturing Science And Engineering , vol.119,1997.
- [4] H. Hashimoto , M. Mongkolwongroj , " Lubrication Theory , " King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang ,1992.
- [5] J. Olds , " Lubricants,Cutting Fluids & Coolants , " Cahners book ,1973.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อผู้เขียน : นางสาวดารัตน์ ปัญญากาญจน์
- วัน เดือน ปี เกิด : 5 สิงหาคม 2521
- ประวัติการศึกษา
- 2532 : โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย(ฝ่ายประถม)
 - 2536 : โรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย(ฝ่ายมัธยม)
 - 2541 : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา อุตสาหการ มหาวิทยาลัยมหิดล
- ผลงานที่เคยได้รับการตีพิมพ์
- 2543 : “LUBRICATION CHARACTERISTIC OF JOURNAL BEARINGS WITH NON-NEWTONIAN DILATANT LUBRICANTS”, วิศวกรรมลาดกระบัง
 - 2547 : “LUBRICATION CHARACTERICS FOR METAL FORMING PROCESS”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้