

การปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลสำหรับชุดจับยึดหัวอ่าน

THE SERVICE LIFE IMPROVEMENT OF HGA CLAMP SEAL

สุทิน พลบูรณ์
SUTHIN PHOLBOORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-030-011

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลสำหรับชุดจับยึดหัวอ่าน

THE SERVICE LIFE IMPROVEMENT OF HGA CLAMP SEAL



สุทิน พลบูรณ์

SUTHIN PHOLBOORN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 95067
วัน,เดือน,ปี 20 พ.ศ. 2552



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-030-011

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลสำหรับชุดจับยึดหัวอ่าน
Thesis Title The Service Life Improvement of HGA Clamp Seal
นักศึกษา นายสุทิน พลบูรณ์
รหัสประจำตัว 49060304
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-030-011

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.อุจน์ต์	พิณ โสภณ	
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์	พิมสาร	
ดร.ณัฐวุฒิ	เดไปวา	
รศ.ดร.สุรเชษฐ์	ชุตินา	
รศ.ดร.มงคล	มงคลวงศ์โรจน์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 เวลา 10.00-12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 23 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลสำหรับชุดจับยึดหัวอ่าน
นักศึกษา	นาย สุทิน พลบูรณ์
รหัสนักศึกษา	49060304
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณลักษณะการสึกหรอของซีลสำหรับชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ และทำการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลให้ยาวนานขึ้น อุปกรณ์ทดสอบการสึกหรอได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของซีลภายใต้การเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาที่สภาวะการเปลี่ยนแปลงภาระการรับโหลดและจำนวนรอบในการทำงาน ปริมาณการสึกหรอวัดด้วยเครื่องชั่งละเอียด สภาพพื้นผิวการสึกหรอตรวจเช็คด้วยกล้องจุลทรรศน์ เนื่องจากการสึกหรอของซีลส่วนใหญ่เกิดจากการถูกขัดถูจากความเค้นเฉือนเมื่อมีการเคลื่อนที่ ในการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีล จึงต้องทำการลดการสึกหรอด้วยการลดความเค้นเฉือนโดยการเพิ่มพื้นที่ในการรับแรงเฉือน ในการทดลองนี้จึงได้ทำการเพิ่มขนาดของซีลขึ้นไปอีก 25% ซึ่งเป็นขนาดที่มีการใช้งานในตำแหน่งอื่นอยู่แล้ว จากการทดลองพบว่า ซีลขนาดใหม่จะมีสภาพการสึกหรอที่น้อยกว่าซีลขนาดเก่า ซีลขนาดใหม่และขนาดเก่าจะมีการสึกหรอเพิ่มขึ้น เมื่อทั้งความดันและจำนวนรอบการใช้งานเพิ่มมากขึ้น แต่ซีลขนาดใหม่จะมีการสึกหรอน้อยกว่าซีลขนาดเก่ามากและยังมีอัตราการสึกหรอที่น้อยกว่าด้วย ซีลขนาดใหม่ช่วยทำให้การสึกหรอลดลงถึง 85.51% ที่ความดัน 3.0 บาร์ และ จำนวนรอบการใช้งานเท่ากับ 10,000 รอบ ความดันนี้เป็นความดันที่ดีที่สุดสำหรับการใช้งานจริงในกระบวนการผลิต

คำสำคัญ : คุณลักษณะการสึกหรอ, การสึกหรอของซีล, ชุดจับยึดหัวอ่าน

Thesis Title	The Service Life Improvement of HGA Clamp Seal
Student	Mr. Suthin Pholboorn
Student ID.	49060304
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Mongkol Mongkolwongrojn

ABSTRACT

This thesis presents the study of the wear characteristics for HGA clamp seal and includes the improvement of the usable life of HGA clamp seal. An experimental test has been set up to investigate the wear characteristics of HGA clamp seal under oscillatory motion at various loads and many cycles of the motion. The wear rate can be measured by using the precise weighting machine. The wearing surface can inspect by the microscope. The most wear occurs from the abrasion of shear stress while in motion. The improvement of the usage life of seal is done by reduce wear from shear stress by increasing the area to support shear force. This experiment increases the size of seal about 25% from the old size. The new size of seal is the same size which uses in the other positions. The result of the experiment can show that the new size can get the wearing state lower than the old size. Both of the new size and the old size increase wear when increase both of operated pressure and cycles of the motion. The new size can get wear and wear rate lower than the old size. The new size can reduce wear about 85.51% at the operated pressure at 3.0 bar and the cycle of motion at 10,000 cycles. This operated pressure is the best service pressure for the actual operation in the manufacture.

Key words : Wearing Characteristic, Wear of seal, HGA clamp

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. มงคล มงคลวงษ์โรจน์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ผ.ศ. ดร. อุณนัต พิณโสภณ และ ผศ.ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร กรรมการสอบหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ พรศักดิ์ อรรถวานิช ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้กล้องจุลทรรศน์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ชลอ จารุสุทธิรักษ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด

ขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท ซีเกท (เทคโนโลยี) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ในการทำการวิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ และ น้องๆ ที่คอยให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดีตลอดมาจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลงได้ด้วยดี

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

สุทิน พลบูรณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์.....	3
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการ.....	8
3.1 พื้นฐานการสีกหของวัสดุทางวิศวกรรม.....	8
3.1.1 การสีกหของวัสดุทั่วไป.....	8
3.1.2 การสีกหของโพลีเมอร์.....	10
3.2 การควบคุมการสีกหของวัสดุโพลีเมอร์.....	11
3.2.1 การออกแบบโครงสร้าง.....	12
3.2.2 การดัดแปลงพื้นผิว.....	14
3.2.3 การเสริมแรงด้วยอนุภาคหรือเส้นใย.....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.4 การเตรียมวัสดุประเภทไอพีเอ็น.....	15
3.3 การปรับปรุงอายุการใช้งานของซีล.....	16
3.3.1 หลักการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีล.....	16
3.3.2 ความเค้นที่เกิดจากซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่.....	17
3.3.3 ลำดับการออกแบบร่องสวมซีลขนาดใหม่.....	20
บทที่ 4 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	23
4.1 บทนำ.....	23
4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง.....	23
4.2.1 ปีมล.....	23
4.2.2 เครื่องทำอากาศแห้ง.....	23
4.2.3 เกจวัดความดัน.....	24
4.2.4 โซลินอยด์วาล์ว.....	24
4.2.5 ชุดจ่ายไฟกระแสตรง.....	25
4.2.6 Programmable Logic Controller, (PLC).....	25
4.2.7 ชุดจับยึดหัวอ่าน.....	26
4.2.8 ซีล.....	28
4.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง.....	29
4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	29
4.3.2 วงจรควบคุมการทำงาน.....	30
4.4 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง.....	30
บทที่ 5 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	32
5.1 บทนำ.....	32
5.2 ผลการทดลองของซีลขนาดเก่า.....	32
5.3 ผลการทดลองของซีลขนาดใหม่.....	33
5.4 เปรียบเทียบผลการทดลองของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่.....	34
5.5 รูปแสดงผลการทดลองของซีลขนาดเก่า.....	36
5.5.1 รูปแสดงผลการทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.0 บาร์.....	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.5.2 รูปแสดงผลการทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.5 บาร์.....	38
5.5.3 รูปแสดงผลการทดลองที่ความดันเท่ากับ 4.0 บาร์.....	40
5.6 รูปแสดงผลการทดลองของซิลขนาดใหม่.....	42
5.6.1 รูปแสดงผลการทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.0 บาร์.....	42
5.6.2 รูปแสดงผลการทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.5 บาร์.....	45
5.6.3 รูปแสดงผลการทดลองที่ความดันเท่ากับ 4.0 บาร์.....	48
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	52
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	52
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	52
บรรณานุกรม.....	53
ภาคผนวก.....	56
ภาคผนวก ก ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์.....	57
ภาคผนวก ข การใช้วิศวกรรมพื้นผิวเพื่อช่วยป้องกันการสึกหรอ.....	67
ภาคผนวก ค ตารางแสดงผลการทดลอง.....	79
ภาคผนวก ง รูปแสดงผลการทดลอง (เพิ่มเติม).....	82
ภาคผนวก จ ตารางแสดงขนาดของซิลที่ใช้ในชุดจับยึดหัวอ่าน.....	108
ภาคผนวก ฉ แสดงการเปรียบเทียบพื้นที่รับแรงของซิล.....	110
ประวัติผู้เขียน.....	113

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการทำซีต.....	28

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงการกลไกการเกิดการสึกหรอแบบขัดถูแบบ 2 เนื้อ.....	8
3.2 แสดงการกลไกการเกิดการสึกหรอแบบขัดถูแบบ 3 เนื้อ.....	9
3.3 แสดงการกลไกการเกิดการสึกหรอแบบเนบติด.....	9
3.4 แสดงการกลไกการเกิดการสึกหรอเนื่องจากความล้า.....	10
3.5 การสึกหรอที่เกิดจากการล้าของโพลีอิมิดชนิดต่างๆ.....	13
3.6 โครงสร้างของโพลีอิมิดที่มีการออกแบบโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุล ให้มีความยืดหยุ่นต่างกัน.....	13
3.7 แสดงแรงที่กระทำกับชุดจับยึดหัวอ่านขณะเคลื่อนที่ขึ้น.....	17
3.8 แสดงการรับความเค้นของซีลขนาดเก่า.....	18
3.9 แสดงการรับความเค้นของซีลขนาดใหม่.....	18
3.10 แสดงการเปรียบเทียบพื้นที่การรับแรงของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่.....	19
3.11 แสดงการออกแบบร่องสวมซีลลำดับที่ 1	20
3.12 แสดงการออกแบบร่องสวมซีลลำดับที่ 2	21
3.13 แสดงการออกแบบร่องสวมซีลลำดับที่ 3	21
3.14 แสดงการออกแบบร่องสวมซีลลำดับที่ 4	22
4.1 แสดงปั๊มลมที่ใช้ในการทดลอง.....	23
4.2 แสดงเครื่องทำอากาศแห้ง.....	24
4.3 แสดงเกจวัดความดัน.....	24
4.4 แสดงโซลินอยด์วาล์ว.....	25
4.5 แสดงชุดจ่ายไฟกระแสตรง.....	25
4.6 แสดง Programmable Logic Controller, (PLC).....	26
4.7 แสดงส่วนประกอบและการทำงานของชุดจับยึดหัวอ่าน.....	27
4.8 แสดงรายละเอียดของชุดจับยึดหัวอ่านขนาดเก่า.....	27
4.9 แสดงรายละเอียดของซีลขนาดเก่า.....	28
4.10 แสดงรายละเอียดของซีลขนาดใหม่.....	29
4.11 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	29
4.12 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของระบบ.....	30
4.13 แสดงการประกอบซีลเข้ากับชุดจับยึดหัวอ่าน.....	31
4.14 แสดงชุดจับยึดหัวอ่านที่ประกอบเสร็จพร้อมทำการทดลอง.....	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 แสดงมวลที่สูญเสียไปต่อจำนวนรอบที่ความดันที่แตกต่างกันของซิลิโคนเก่า.....	32
5.2 แสดงมวลที่สูญเสียไปต่อจำนวนรอบที่ความดันที่แตกต่างกันของซิลิโคนใหม่.....	33
5.3 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของซิลิโคนเก่าและชนิดใหม่ที่ความดันใช้งาน เท่ากับ 3.0 บาร์.....	34
5.4 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของซิลิโคนเก่าและชนิดใหม่ที่ความดันใช้งาน เท่ากับ 3.5 บาร์.....	35
5.5 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของซิลิโคนเก่าและชนิดใหม่ที่ความดันใช้งาน เท่ากับ 4.0 บาร์.....	35
5.6 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ.....	36
5.7 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ.....	37
5.8 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ.....	37
5.9 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ.....	38
5.10 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ.....	39
5.11 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ.....	39
5.12 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ.....	40
5.13 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ	41
5.14 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ.....	41
5.15 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ.....	42
5.16 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ.....	43
5.17 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ	43
5.18 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ.....	44
5.19 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ.....	44
5.20 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ.....	45
5.21 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ.....	46
5.22 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ.....	46
5.23 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ.....	47
5.24 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ.....	47
5.25 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ.....	48
5.26 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ.....	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.27 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ.....	49
5.28 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ.....	50
5.29 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ.....	50
5.30 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ.....	51

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

- P ความดันที่ป้อนเข้าระบบ (Pa)
 F แรงที่กระทำกับซีลในแนวขนานการเคลื่อนที่ (N)
 W แรงที่กระทำกับซีลในแนวตั้งฉากการเคลื่อนที่ (N)
 R รัศมีของซีล (mm)
 b ความกว้างของซีลในการรับแรง (mm)
 L ความยาวของซีลในการรับแรง (mm)
 ν Poisson ratio ของซีล
 E Young Modulus ของซีล (Pa)
 A พื้นที่รับแรงของชุดจับยึดหัวอ่าน (mm^2)
 D_1 เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของร่องของชุดจับยึดหัวอ่าน (mm)
 D_2 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของร่องของชุดจับยึดหัวอ่าน (mm)
 τ ความเค้นเฉือน (N/mm^2)
 a พื้นที่รับแรงเฉือนของซีล (mm^2)

ตัวห้อย

- O ซีลขนาดเก่า
 N ซีลขนาดใหม่

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ (HGA Clamp) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับยึดหัวอ่าน (Slider) ขณะทำการตรวจสอบหัวอ่านในกระบวนการทดสอบหัวอ่านเพื่อตรวจสอบคุณภาพและคุณสมบัติของหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนที่ใช้งานในคอมพิวเตอร์ โดยที่ชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์จะมีการเคลื่อนที่ขึ้นและเคลื่อนที่ลงทั้งก่อนและหลังจากการตรวจสอบหัวอ่านที่อาศัยลมจากปั๊มลมที่ผ่านเครื่องทำอากาศแห้ง (Air Dryer) ชุดจับยึดหัวอ่านจะมีช่องว่างระหว่างกระบอกลูกสูบกับลูกสูบเพื่อให้การเคลื่อนที่ขึ้นและเคลื่อนที่ลงได้อย่างสะดวก ดังนั้น เพื่อป้องกันการรั่วไหลของลมซึ่งเป็นแรงผลักดันให้ลูกสูบมีการเคลื่อนที่ได้จึงต้องใช้ซิลที่มาจากวัสดุอีลาสโตเมอร์ที่ง่ายต่อการขึ้นรูปและง่ายต่อการประกอบเพื่อทำหน้าที่ป้องกันการรั่วไหลของลม โมเดลของซิลที่ใช้ในปัจจุบันเป็นแบบที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นแบบวงกลมและมีขนาดที่เล็กมาก การเคลื่อนที่ขึ้นและลงจะเป็นการเคลื่อนที่แบบกลับไปกลับมาซ้ำกันหลายรอบ เมื่อซิลเกิดการสึกหรอมากจนทำให้ลมรั่วไหลออกไปจากระบบได้จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงจึงต้องทำการเปลี่ยนซิลใหม่แทนเพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง หากซิลเกิดการสึกหรอบ่อยๆ ก็จะต้องทำการเปลี่ยนซิลบ่อยๆ เช่นเดียวกัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อหลายๆ ด้าน ทั้งส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ทำให้ยอดการผลิตลดลงซึ่งไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้, ทำให้สูญเสียเวลาในการผลิต, สูญเสียความน่าเชื่อถือและสูญเสียลูกค้าเนื่องจากสินค้าส่งไม่ทันตามกำหนด, ทำให้เสียค่าใช้จ่ายทั้งค่าอุปกรณ์ต่างๆ และค่าแรงงานในการเปลี่ยนซิลตัวใหม่ เพื่อป้องกันปัญหาเหล่านั้น จึงต้องทำการปรับปรุงอายุการใช้งานของซิลให้ยาวนานขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะการสึกหรอของซิลสำหรับชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ทำจากวัสดุอีลาสโตเมอร์
2. เพื่อศึกษาผลของการสึกหรอของซิลจากสภาวะการทำงานที่แตกต่างกัน
3. เพื่อปรับปรุงอายุการใช้งานของซิลให้ยาวนานขึ้น

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

วัสดุอีลาสโตเมอร์มีคุณสมบัติในการเสีรูปร่างได้ง่ายแม้มีแรงกระทำที่น้อยๆ และสามารถคืนรูป

ได้ง่ายเมื่อไม่มีแรงกระทำ ดังนั้น วัสดุอีลาสโตเมอร์จึงมีความเหมาะสมในการทำซีลเพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารหล่อลื่นที่ใช้งานอยู่ในระบบเพราะง่ายต่อการขึ้นรูปและง่ายต่อการประกอบซีลเข้ากับชิ้นงานที่ใช้งานอยู่ในระบบ งานวิจัยนี้จะได้ทำการออกแบบขนาดของซีลใหม่โดยการเพิ่มความหนาของซีลเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการรับแรงเฉือนได้มากขึ้น อันจะส่งผลให้ความเค้นเฉือนลดลง จึงสามารถทำให้การสึกหรอลดลงด้วย ดังนั้น การเพิ่มความหนาของซีลจะทำให้อายุการใช้งานของซีลเพิ่มมากขึ้นกว่าซีลขนาดที่เล็กกว่าได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของซีลสำหรับชุดจับยึดหัวอานจะอาศัย ทฤษฎี ความรู้ทางด้านวัสดุวิศวกรรม, กลศาสตร์ของวัสดุและการออกแบบทางด้านเครื่องกลเป็นประเด็นหลัก สำหรับความรู้ทางด้านวัสดุวิศวกรรมจะอาศัยหลักการที่ว่าวัสดุที่มีความยืดหยุ่นได้ดีจะมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ทำซีลได้ดีที่สุด งานวิจัยนี้จะใช้วัสดุอีลาสโตเมอร์ที่มีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นได้ดีมาใช้ในการทำซีลเพื่อใช้ในการทดลองนี้ ส่วนความรู้ด้านการออกแบบเครื่องกลและกลศาสตร์ของวัสดุได้ทำการออกแบบซีลขนาดใหม่โดยการเพิ่มความหนาของซีลเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการรับแรงเฉือนได้มากขึ้นเพื่อลดความเค้นเฉือนที่ทำให้เกิดการเสียดรูปหรือการสึกหรอ ซึ่งจะทำให้การสึกหรอลดน้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบของซีลขนาดเก่าที่มีพื้นที่ในการรับแรงเฉือนที่น้อยกว่า ในการหาโมเดลของซีลที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการเพิ่มความหนาขึ้นนั้น จะอาศัยหลักการที่ว่า ทำการออกแบบซีลให้มีขนาดเท่ากับซีลที่มีขนาดที่มากกว่าซีลที่มีการสึกหรอมากที่สุด ซึ่งซีลขนาดนั้นมีปริมาณการใช้งานอยู่ถึงสองตำแหน่ง ถ้าหากทำการเพิ่มขนาดของซีลขึ้นอีกหนึ่งตำแหน่ง ก็จะมีซีลขนาดนั้นใช้งานอยู่ถึงสามตำแหน่ง ซึ่งจะส่งผลดีในหลายๆประเด็น ไม่ว่าจะเป็นสะดวกในการจัดซื้อ, สะดวกในการจัดเก็บ, สะดวกในการใช้งาน, เพิ่มอายุการใช้งานของซีล

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. ทดลองในห้องปรับอากาศเพื่อให้เหมือนเงื่อนไขการทำงานจริง
2. ทดลองที่ความดัน 3.0, 3.5 และ 4.0 บาร์
3. ทดลองที่จำนวนรอบเริ่มต้น 2,000 รอบ เพิ่มขึ้นทีละ 2,000 รอบ จนถึง 10,000 รอบ
4. ทดลองด้วยซีลที่ใช้งานในตำแหน่งที่ 1 ขนาด $0.110 * 0.020$ นิ้ว (ซีลขนาดเก่า)
5. ทดลองด้วยซีลที่ใช้งานในตำแหน่งที่ 1 ขนาด $0.090 * 0.025$ นิ้ว (ซีลขนาดใหม่)
6. ทดลองด้วยวัสดุที่ใช้ทำซีลคือ NBR (Nitrile Butadiene Rubber)
7. สมมุติให้ซีลขณะมีการเคลื่อนที่อยู่ในระบบปิด จึงไม่สามารถแก้ไขซีลได้ในขณะนั้น
8. ไม่พิจารณาการสึกหรอของซีลที่พื้นผิวด้านที่ไม่ได้สัมผัสกับการเคลื่อนที่

9. หาโมเดลของซิลที่เกิดการสึกหรอน้อยที่สุดด้วยการเปรียบเทียบผลจากการทดลองตามเงื่อนไขในข้อ 1 – 8 เพื่อนำไปใช้ในการทำงานจริง

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาการทำงานของระบบจับยึดหัวอ่าน
2. ออกแบบอุปกรณ์จำลองการทำงานของระบบเพื่อใช้ในการทดลอง
3. ทดลองการทำงานด้วยซิล โมเดลที่ใช้งานอยู่ที่เป็นซิลขนาดเก่า
4. วิเคราะห์ผลการทดลองของซิล โมเดลที่ใช้งานอยู่ที่เป็นซิลขนาดเก่า
5. ออกแบบซิลขนาดใหม่โดยเพิ่มความหนาและออกแบบชุดลูกสูบเพื่อใช้กับซิลขนาดใหม่
6. ค้นหา Supplier เพื่อดำเนินการจัดหาซิลขนาดใหม่
7. ค้นหา Supplier เพื่อดำเนินการจัดหาชุดลูกสูบเพื่อใช้กับซิลขนาดใหม่
8. ทดลองการทำงานของระบบด้วยซิลขนาดใหม่และชุดลูกสูบใหม่
9. นำโมเดลของซิลที่มีการสึกหรอน้อยที่สุดไปใช้ในการทำงานจริง เพื่อยืดอายุการใช้งานของซิล

1.7 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งโครงสร้างของเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย วัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการศึกษา และ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 กล่าวถึงการสึกหรอของวัสดุทางวิศวกรรมและหลักการปรับปรุงอายุการใช้งานของซิล

บทที่ 4 กล่าวถึงอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองและวิจารณ์

บทที่ 6 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แก่

1. ได้ทราบถึงพฤติกรรมการสึกหรอของซิลที่ทำจาก NBR
2. ได้ทราบว่าซิลจะมีการสึกหรอเพิ่มขึ้นเมื่อเงื่อนไขการทำงานเพิ่มมากขึ้น
3. ได้ทราบถึงวิธีการปรับปรุงอายุการใช้งานของซิลว่าสามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาด

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 บทนำ

ซีลเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ป้องกันสารหล่อลื่นที่ใช้งานในระบบไม่ให้มีการรั่วไหลออกไปจากระบบและป้องกันสารแปลกปลอมจากภายนอกไม่ให้แทรกซึมเข้าไปในระบบ เพราะจะทำให้การทำงานของระบบเกิดความผิดพลาดได้ ซีลจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์มากในงานอุตสาหกรรมเกือบจะทุกประเภท จึงได้มีการพยายามคิดค้นวิธีการปรับปรุงสมบัติของซีลให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น เพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นไปตามเป้าหมายเพื่อผลประกอบการที่ดีขึ้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Hai Sui, Heiko Pohl, Uwe Schomburg, Gerd Upper, Steffen Heine [4] ได้ทำการทดลองและจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์กับ PTFE Seals ที่รับแรงในแนวรัศมีพบว่าที่ความเร็วรอบ 2,000-6,000 rpm ค่าของ Friction Coefficient μ จะลดลง เมื่อเพิ่มความเร็วรอบและแรงกระทำที่ผิวสัมผัส สำหรับการวัดการสึกหรอ จะพบว่าที่ความเร็วรอบและความดันสูงๆจะเกิดการสึกหรอมาก แต่จะเกิดการสึกหรอน้อยที่ความดันน้อยกว่า 0.5 MPa และความเร็วรอบน้อยกว่า 3,000 rpm

Ahmed Abouel-Kasem [1] ได้ทำการประมาณอายุการใช้งานและออกแบบการใช้ซีลยาง (Elastomeric Seals) ด้วยการเพิ่มเหล็กเส้นไปที่ตอนปลายของ Seal (Metal End Caps, MEC) จะพบว่าจากการประมาณอายุการใช้งานของ NBR Seal จะขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัสดุ, ขนาดของแรงเสียดทาน, ขนาดของวัสดุและแรงที่สามารถรับได้ แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ของ MEC Seal จะพบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้น อายุการใช้งานจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

Marcelo Kawakame, Jose Divo Bressan [6] ได้ทำการทดลองหาการต้านการสึกหรอของ Seal ที่ทำจาก Polymer และส่วนผสมที่ใช้ในมอเตอร์ไฟฟ้า พบว่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีผลต่อการสึกหรอของ Polymer และยังพบอีกว่า PTFE รวมกับ 15% Glass Fiber Type E รวมกับ 5% ของ MoS_2 และ PTFE รวมกับ 15% Graphite จะมีความสามารถในการต้านการสึกหรอได้ดีเหมาะที่จะใช้กับ Seal สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า

G. A. Jones [8] ได้ทำการทดลองหาสมบัติของวัสดุที่เหมาะสมสำหรับทำ Seal ที่ใช้กับผิวสัมผัสแบบแห้ง พบว่า Mechanical Carbon ที่รวมกับ Silicon Carbide จะให้ค่า Friction Coefficient ที่ลดลง เมื่อ ความดันและความเร็วในการใช้งานเพิ่มขึ้น

J. Karger-Kocsis, A. Mousa, Z. Major, N. Bekesi [10] ได้ทำการทดลองการเลื่อนไถลแบบแห้งของยาง EPDM ผสมด้วย Carbon Black (CB) กับเหล็กกล้า พบว่า เมื่อเพิ่ม CB จะทำให้อัตราการสึกหรอลดลง

Bin-Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun Liu, Pei-Hong Cong [11] ได้ทำการทดลองการเลื่อนไถลของคู่สัมผัสระหว่าง PTFE-PTFE, PA66-PA66 และ PPS-PPS ภายใต้เงื่อนไขการสัมผัสแบบแห้งและใช้สารหล่อลื่น พบว่า สารหล่อลื่นทำให้แรงเสียดทานลดลงได้ทุกคู่สัมผัส สำหรับอัตราการสึกหรอจะช่วยลดลงได้เฉพาะคู่ของ PTFE-PTFE และ PPS-PPS แต่ คู่ของ PA66-PA66 สารหล่อลื่นไม่ช่วยให้การสึกหรอลดลงเลย

D. Felhos s, J. Karger-Kocsis [12] ได้ทำการทดลองการเลื่อนไถลแบบแห้งของยาง EPDM ด้วยการเติม Carbon black (CB, N347) ที่มีปริมาณที่ต่างกันพบว่าเมื่อปริมาณของ CB มากขึ้นทำให้อัตราการสึกหรอและความเสียดทานและอัตราการสึกหรอลดลง

Thomas, Larsen, Tom L. Andersen, Bent Thorning , Andy Horsewell, Martin E. Vigild [13] ทำการทดลองการเลื่อนไถลแบบแห้งพบว่าที่ความดันใช้งาน 0.25 MPa, ความเร็ว 6.0 m/s ในกรณีไม่ได้ผสม PTFE สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะไม่ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของ CuO เลย แต่เมื่อผสม PTFE สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะลดลง 35% เมื่อปริมาณของ CuO เป็น 0 - 0.4 vol.% และเมื่อความดันใช้งาน 1.16 MPa, ความเร็ว 1.0 m/s ในกรณีไม่ได้ผสม PTFE จะเกิดการสึกหรอมากขึ้น แต่เมื่อผสม PTFE ทั้งสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและการสึกหรอจะลดลง และส่วนผสมของ CuO ที่ดีที่สุดอยู่ในช่วง 0.1 – 0.4 vol.%

Xintao Zhang, Gongxiong Liao, Qifeng Jin, Xuebin Feng, Xigao Jian [14] ทำการทดลองการเลื่อนไถลแบบแห้งของ PPS ที่มีการเติม PTFE 5 - 25 wt% และเติม Graphite 5 - 30 wt% พบว่าการเติม PTFE และ Graphite ทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานและอัตราการสึกหรอลดลงและการลดลงจะเกิดมากขึ้นเมื่อเติม PTFE และ Graphite มากกว่า 20 wt%

H. Unal, A. Mimaroglu, T. Arda [15] ทำการทดลองการเลื่อนไถลแบบแห้งด้วยอุปกรณ์ pin - on - disk โดยที่ disk เป็น polyester และ pin เป็นวัสดุโพลีเมอร์หลายชนิด ทดลองที่ความเร็ว 0.5 m/s พบว่าการสึกหรอเกิดมากที่สุดสำหรับ PPS + 30% GFR เท่ากับ $1 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{N}$ และการสึกหรอเกิดน้อยที่สุดสำหรับ PTFE + 17% GFR เท่ากับ $9.41 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$

Junhong Jia, Jianmin Chen, Huidi Zhou, Litian Hu, Lei Chen [16] ทำการทดลองการเลื่อนไถลแบบแห้งและการเลื่อนไถลแบบเปียกที่หล่อลื่นด้วยน้ำของวัสดุโพลีเมอร์เคลื่อนที่ไปบนเหล็กกล้า พบว่า การหล่อลื่นด้วยน้ำจะทำให้การสึกหรอเกิดน้อยกว่าการเลื่อนไถลแบบแห้ง โดยที่ PEEK + 15%CF + 5%PTFE จะเกิดการสึกหรอน้อยที่สุดเท่ากับ $0.64 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ และ PTFE + 15%CF จะเกิดการสึกหรอมากที่สุดเท่ากับ $2.58 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ สำหรับการหล่อลื่นด้วยน้ำ ส่วนการเลื่อนไถลแบบแห้ง PEEK + 15%CF + 5%PTFE จะเกิดการสึกหรอน้อยที่สุดเท่ากับ

$2.21 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ และ PTFE + 15%CF จะเกิดการสึกหรอมากที่สุดเท่ากับ $9.19 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$

Yoshinori Takeichi, Agung Wibowo, Masahiro Kawamura, Masao Uemuraa [17] ทำการทดลองการลื่นไถลแบบแห้งของ PTFE ที่เติมส่วนผสมด้วย carbon black ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ขนาดที่ต่างกัน โดยขนาดเล็กมีค่าน้อยกว่า 25 นาโนเมตร และขนาดใหญ่มีค่ามากกว่า 38 นาโนเมตร สำหรับการเติมด้วยปริมาณ 10% โดยมวลของ carbon black จะมีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอได้ดีที่สุด การเติม carbon black ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานน้อยกว่าไม่เติม carbon black ให้กับ PTFE และการสึกหรอของ PTFE จะลดลงเมื่อเติมด้วย carbon black ที่มีขนาดที่เล็กลง

Pieter Samyn, Jan Quintelier, Wouter Ost, Patrick De Baets, Gustaaf Schoukens [18] ทำการทดลองการลื่นไถลแบบแห้งของ Polyethyleneterephthalate (PET) ภายใต้เงื่อนไขการรับโหลดที่สูงมากตั้งแต่ 190 – 3380 kN เพื่อหาประสิทธิภาพและการสึกหรอเมื่อรับโหลดที่สูง พบว่าวัสดุ PET ที่ไม่ได้เติมสารอะไรเลยจะมีแรงเสียดทานที่สูงมาก แต่เมื่อมีการเติม PTFE แรงเสียดทานจะลดลงและจะค่อนข้างคงที่เมื่อรับโหลดเกินค่า yield strength จึงเกิดการเสียรูปแบบถาวรทำให้การสึกหรอลดลงเมื่อเพิ่มโหลดมากขึ้น

Jung-Yeob Lee, Dae-Soon Lim [19] ทำการทดลองการลื่นไถลแบบแห้งของ PTFE ที่อุณหภูมิห้องและ 150 องศาเซลเซียส โดยการเคลือบ PTFE ด้วยเพชรละเอียดที่ทำการเพิ่มขึ้นจนถึง 4 wt% ของเพชรละเอียด พบว่า PTFE ที่ถูกเคลือบสามารถต้านทานการสึกหรอเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเพชรละเอียดขึ้นไปจนถึง 2 wt% แต่ ความต้านทานการสึกหรอจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเพชรละเอียดในช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดลอง สัมประสิทธิ์ความเสียดทานและความกว้างของรอยขีดข่วนจะลดลงจาก 0.21 เป็น 0.16 และ 0.85 เป็น 0.44 มิลลิเมตร ตามลำดับ เมื่อเคลือบ PTFE ด้วยปริมาณ 2 wt% ของเพชรละเอียด

W. Gregory Sawyer, Kevin D. Freudenberg, Praveen Bhimaraj, Linda S. Schadler [20] ทำการทดลองการลื่นไถลแบบแห้งของ PTFE ที่ผสมด้วยอะลูมิเนียมที่มีขนาด 40 ไมโครเมตร โดยส่วนผสมจาก 0 ถึง 20 wt% เคลื่อนที่กลับไปกลับมาบนเหล็กกล้าที่ความดัน 6.4 MPa ระยะทางการเคลื่อนที่ 50 มิลลิเมตร และ ความเร็ว 50 มิลลิเมตรต่อวินาที พบว่า สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของส่วนผสมจะเพิ่มขึ้นมากกว่าที่ไม่ได้ผสมจาก 0.15 เป็น 0.2 ที่ส่วนผสม 20 wt% ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอจะเพิ่มขึ้นถึง 600 เท่า ความสามารถในการต้านทานการสึกหรอจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มส่วนผสมและไม่สามารถหาส่วนผสมที่มีความเหมาะสมได้

Shi-Quan Lai, Li Yueb, Tong-Sheng Li, Zhi-Meng Hua [21] ทดลองการลื่นไถลแบบแห้งของ PTFE ที่ผสมด้วยเพชรละเอียด (ultrafine diamond, (UFD)) ขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10 นาโนเมตร พบว่า การเติมเพชรละเอียดไม่ทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเปลี่ยนแปลงไปเลย แต่ การ

สึกหรอจะลดลงมากกว่า PTFE ที่ไม่มีการเติมเพชรละเอียด โดยที่การสึกหรอจะลดลงมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของเพชรละเอียดมากขึ้น

H. Unal, U. Sen, A. Mimaroglu [22] ทำการทดลองการลื่นไถลแบบแห้งของ PTFE ที่ผสมด้วย 25 wt% ของทองเหลือง โดยมีการเคลื่อนที่ไปบนเหล็กกล้า AISI 440C พบว่า ที่ความเร็วต่ำและความเร็วสูง สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของส่วนผสมของ PTFE จะลดลงเมื่อเพิ่มแรงกระทำ และจากการทดลองยังพบว่าแรงที่กระทำจะส่งผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของส่วนผสมของ PTFE แต่ความเร็วส่งผลน้อยกว่า และอัตราการสึกหรอของ PTFE ที่ผสมด้วยทองเหลืองจะลดลงเกือบจะเป็นเชิงเส้นกับการเพิ่มของแรงที่กระทำและมีค่าอยู่ในอันดับที่ $10^{-5} \text{ mm}^3/\text{Nm}$

J. Vande Voort, S. Bahadur [23] ทำการทดลองการลื่นไถลแบบแห้งของ PEEK ที่ผสมด้วย CuS และ PTFE โดยการเคลื่อนที่ไปบนเหล็กกล้า พบว่า ส่วนผสมของ CuS ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดการสึกหรอน้อยที่สุดอยู่ที่ 35 vol % โดยการเพิ่ม CuS จะทำให้สัมประสิทธิ์ความเสียดทานเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อผสมด้วย PTFE จะทำให้ทั้งสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและอัตราการสึกหรอลดน้อยลง

S. Bahadur, V.K. Polineni [24] ทำการทดลองการลื่นไถลแบบแห้งของ Nylon (Polyamide) ที่มีการเติมส่วนผสมด้วย CuO, เยื่อใยแก้ว (glass fabric) และ PTFE พบว่า อัตราส่วนผสมของเยื่อใยแก้วที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้การต้านทานการสึกหรอได้ดีคืออยู่ที่ 20 % โดยปริมาตร การเติม CuO ไม่สามารถช่วยในการต้านทานการสึกหรอได้ ส่วนการเติมด้วย PTFE จะช่วยในการต้านทานการสึกหรอได้ดีมาก สำหรับส่วนผสมที่ช่วยในการต้านทานการสึกหรอของ Nylon ได้มากที่สุด คือ 25 vol % CuO - 11.3 vol % glass fabric - 10 vol % PTFE

Z.P. Lu, K. Friedrich [25] ทำการทดลองการลื่นไถลแบบแห้งของ PEEK ทั้งแบบ virgin และผสมด้วย PTFE และ carbon fiber (CF) พบว่า PEEK ที่ผสมด้วย PTFE แรงเสียดทานจะลดลง โดยที่สัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุดอยู่ที่ส่วนผสม 15% โดยปริมาตรของ PTFE อัตราการสึกหรอที่ผสมด้วย PTFE จะต่ำกว่า PEEK แบบ virgin โดยมีอัตราการสึกหรอต่ำที่สุดอยู่ที่ส่วนผสม 5 % โดยปริมาตรของ PTFE สำหรับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำที่สุดเมื่อผสม 10 % โดยปริมาตรของ fiber

บทที่ 3

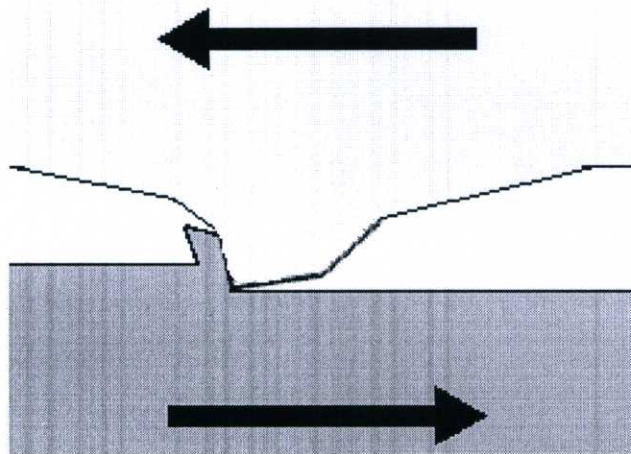
ทฤษฎีและหลักการ

3.1 พื้นฐานการสึกหรอของวัสดุทางวิศวกรรม

การสึกหรอเป็นการหลุดของผิววัสดุจากการถูกแรงกระทำขณะที่ผิวเคลื่อนที่สัมผัสกับอีกผิวหนึ่ง การสึกหรอเกิดได้หลายรูปแบบ เช่น การสึกหรอจากการไถระหว่างผิว (Sliding wear) การขัดถูอนุภาคกับผิว (Abrasive wear) การชนของอนุภาคขนาดเล็กหรือของเหลวกับผิว (Erosion) เป็นต้น ลักษณะหรือกลไกการเกิดการสึกหรอของวัสดุแต่ละชนิดก็แตกต่างกันไป การสึกหรอจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ เช่น โครงสร้างจุลภาคของผิว ชนิดของวัสดุ ลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุ ลักษณะของแรงหรือการภาระ (Nature of loading) ปฏิกริยาเคมี และ อุณหภูมิ เป็นต้น การสึกหรอที่พบโดยทั่วไปมักมีความซับซ้อนมีหลายกลไกเกิดขึ้นพร้อมๆกัน บางทีก็ไม่สามารถระบุการสึกหรอที่เกิดขึ้นได้แน่นอนว่าเป็นชนิดใด

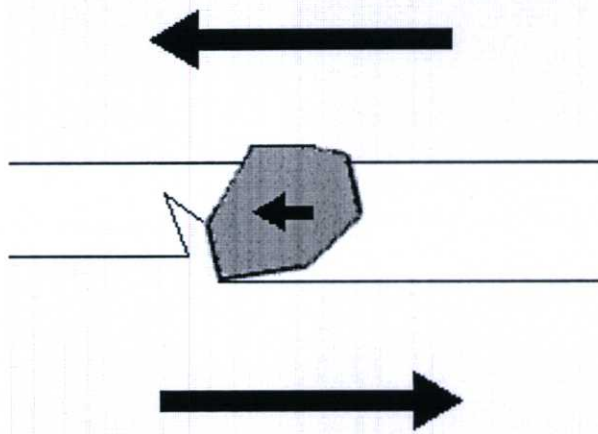
3.1.1 การสึกหรอของวัสดุทั่วไป

1. การสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear) กลไกการเกิดการสึกหรอแบบขัดถูมีลักษณะเหมือนกับการขูดข่วนงานทั่วไป การสึกหรอแบบ 2 เนื้อ (2-body wear) เกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวของวัสดุหนึ่ง (ปกติมักจะมีความแข็งมากกว่า) ขัดถูเนื้อวัสดุอีกชิ้นหนึ่งที่มีความแข็งน้อยกว่าหลุดออกไป



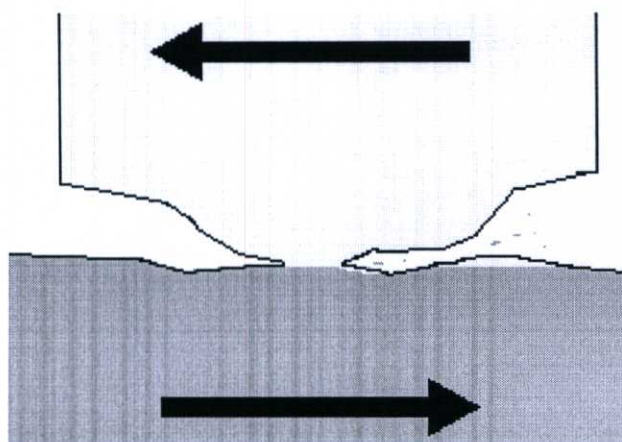
รูปที่ 3.1 แสดงการกลไกการเกิดการสึกหรอแบบขัดถูแบบ 2 เนื้อ

การสึกหรอแบบ 3 เนื้อ (3-body wear) เกิดขึ้นเมื่อมีอนุภาคของแข็งแทรกอยู่ระหว่างพื้นผิวสัมผัส เมื่อมีการเคลื่อนที่จึงเกิดการขัดถูขึ้น วัสดุที่มีความแข็งน้อยกว่าก็จะเกิดการหลุดออกของเนื้อวัสดุ



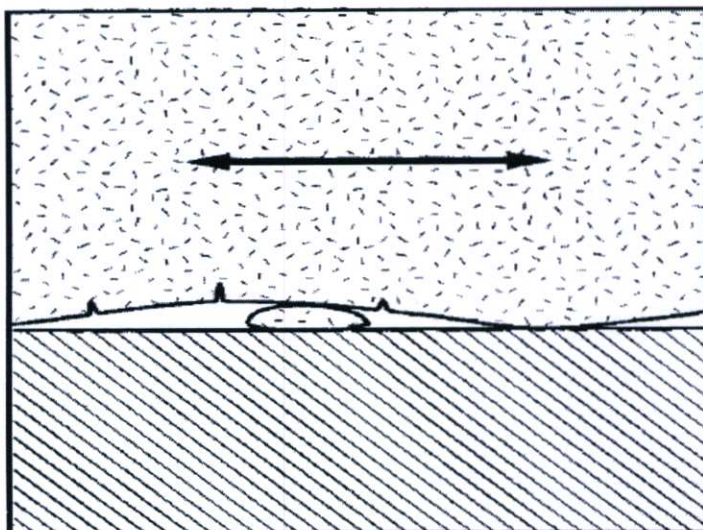
รูปที่ 3.2 แสดงการกลไกการเกิดการสึกหรอแบบขัดถูแบบ 3 เนื้อ

2. การสึกหรอแบบแนบติด (Adhesive Wear) กลไกการเกิดการสึกหรอแบบแนบติดเกิดขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนที่สัมผัสกันระหว่างพื้นผิว 2 พื้นผิว จะเกิดการแตกหักของพันธะในระดับอะตอมที่พื้นผิวของวัสดุ เมื่อมีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องก็จะเกิดการแตกหักในระดับอะตอมมากยิ่งขึ้น ทุกครั้งที่พันธะเกิดการแตกหัก อนุภาคก็จะหลุดออกจากพื้นผิวโดยส่วนใหญ่พื้นผิวที่มีความแข็งน้อยกว่าจะหลุดออกมาก่อน



รูปที่ 3.3 แสดงการกลไกการเกิดการสึกหรอแบบแนบติด

3. การสึกหรอเนื่องจากความล้า (Fatigue Wear) กลไกการสึกหรอเนื่องจากความล้าเกิดขึ้นโดยผิวสัมผัสของการเคลื่อนที่แบบกลิ้งหรือการลื่นไถล มีรอยแตก แล้วมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาบนผิวคู่สัมผัส



รูปที่ 3.4 แสดงกลไกการเกิดการสึกหรอเนื่องจากความล้า

3.1.2 การสึกหรอของโพลีเมอร์

เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะแล้ว โพลีเมอร์โดยส่วนมากจะมีความต้านทานการสึกหรอที่ต่ำกว่า ในการควบคุมการสึกหรอของโพลีเมอร์นั้นเราจำเป็นต้องเข้าใจถึงกลไกการสึกหรอแต่ละประเภทก่อน การสึกหรอของโพลีเมอร์สามารถเกิดได้หลายรูปแบบและมีปัจจัยเกี่ยวข้องของหลายชนิด อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาการสึกหรอของโพลีเมอร์จะมีสมบัติ 2 ตัวที่ต้องนำมาพิจารณาอยู่เสมอ ได้แก่ พลังงานที่ใช้ในการแตกหัก (Fracture energy ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรงในการแตกหัก หรือ Fracture strength) และพลังงานพื้นผิว (surface energy) ซึ่งจัดเป็นสมบัติที่สำคัญที่สุด ในการกำหนดรูปแบบการสึกหรอของโพลีเมอร์ กล่าวคือวัสดุที่มีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอที่สูงควรมีพลังงานที่ใช้ในการแตกหักที่สูง

3.1.2.1 กลไกการสึกหรอ

การสึกหรอของโพลีเมอร์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. การสึกหรอแบบแนบติด (Adhesive Wear) เป็นการถ่ายเทเนื้อวัสดุ (Material transfer) จากพื้นผิวหนึ่งไปยังอีกพื้นผิวหนึ่งภายใต้แรงกระทำโดยเป็นผลมาจากการที่พื้นผิว 2 ชนิดนั้นอยู่ชิดกันหรือเชื่อมติดกัน ซึ่งเมื่อผิวทั้ง 2 ถูกเลื่อนออกจากกันก็จะเกิดการหลุดออกจากพื้นผิววัสดุหนึ่ง เนื่องจากจุดที่เชื่อมกันนั้นฉีกขาดและทำให้โพลีเมอร์สามารถหลุดไปกับพื้นผิวของโลหะหรือโพลี

เมอร์อีกชนิดหนึ่งได้ สำหรับการสึกหรอแบบแนบติดนั้นจะพบว่า พลังงานพื้นผิวเป็นปัจจัยสำคัญ ในการกำหนดปริมาณการสึกหรอของพื้นผิว ดังนั้น โพลีเมอร์ที่มีพลังงานพื้นผิวดำจึงมีแนวโน้มที่จะถ่ายเทเนื้อวัสดุไปยังโพลีเมอร์หรือวัสดุที่มีพลังงานพื้นผิวสูงกว่า นอกจากนี้โพลีเมอร์ที่มีความแข็งแรงมากกว่าจะมีอัตราการสึกหรอที่ต่ำกว่าเนื่องจากการสึกหรอในลักษณะนี้จะเกี่ยวข้องกับการแตกหัก ณ บริเวณที่เชื่อมติด ดังนั้นไม่เพียงแต่พลังงานพื้นผิวเท่านั้นแต่พลังงานในการแตกหักก็เป็นปัจจัยที่ควรพิจารณา โดยปกติการสึกหรอแบบแนบติดนี้มักจะเกิดกับวัสดุประเภทพลาสติกโพลีเมอร์

2. การสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear) การสึกหรอในลักษณะนี้มักจะพบในโพลีเมอร์ที่มีความเปราะ หรือในโพลีเมอร์ที่นิ่มและเหนียวคล้ายยาง เป็นการสึกหรอซึ่งเกิดจากการขัดถู บริเวณผิวหน้าวัสดุ การที่วัสดุจะหลุดออกจากผิวหน้าไปนั้นเกิดจากการเสียดสีของอนุภาคที่มีความแข็งซึ่งอาจแทรกอยู่ระหว่างผิวของวัสดุ 2 ชนิด หรือฝังอยู่ในวัสดุใดวัสดุหนึ่งเป็นการสึกหรอแบบสามเนื้อ (3-body wear) เมื่อเกิดการเสียดสีขึ้นผิวหน้าวัสดุจึงหลุดออกในระดับจุลภาค ดังนั้นการสึกหรอแบบนี้จะเกี่ยวข้องกับพลังงานที่ใช้ในการแตกหัก และกลไกการสัมผัสกันของวัสดุ (Contact Mechanics) โดยพลังงานที่ใช้ในการแตกหักจะเป็นตัวกำหนดการเกิดรอยแตก และปริมาณหรือความรุนแรงของการสึกหรอ ซึ่งโพลีเมอร์ที่สามารถต้านทานการสึกหรอแบบนี้ได้ดีจะต้องมีความแข็ง (Hardness) และความเหนียว (Fracture toughness) วัสดุที่มีความแข็งมากและมีความเหนียวมากกว่าจะสามารถต้านทานการสึกหรอที่เกิดจากการขัดถูได้ดีกว่า

3. การสึกหรอเนื่องจากความล้า (Fatigue Wear) การสึกหรอที่เกิดจากการล้านี้ ปัจจัยที่สำคัญที่สุดก็คือ พลังงานในการแตกหัก ดังนั้นสมบัติที่สำคัญที่เป็นตัวบ่งชี้การสึกหรอประเภทนี้ก็คือ ความเหนียว การสึกหรอที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการสะสมของการเสียหายที่เห็นไม่เด่นชัดนักจากการให้แรงซ้ำไปซ้ำมา หรือการให้แรงกระทำแบบวงรอบ (Cyclic load) เป็นจำนวนมากรอบจนในที่สุดการเสียหายก็เกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด นั่นคือ เกิดการหลุดออกของอนุภาคจากพื้นผิวของวัสดุที่อ่อนนุ่มกว่า การสึกหรอแบบนี้มักไม่รุนแรงและจะเกิดเมื่อมีการหมุนหรือการไถลของวัสดุ การสึกหรอแบบนี้มักจะพบควบคู่ไปกับการสึกหรอแบบขัดถูและการสึกหรอแบบแนบติด ถึงแม้ว่าการสึกหรอประเภทนี้จะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของวัสดุเช่นเดียวกัน

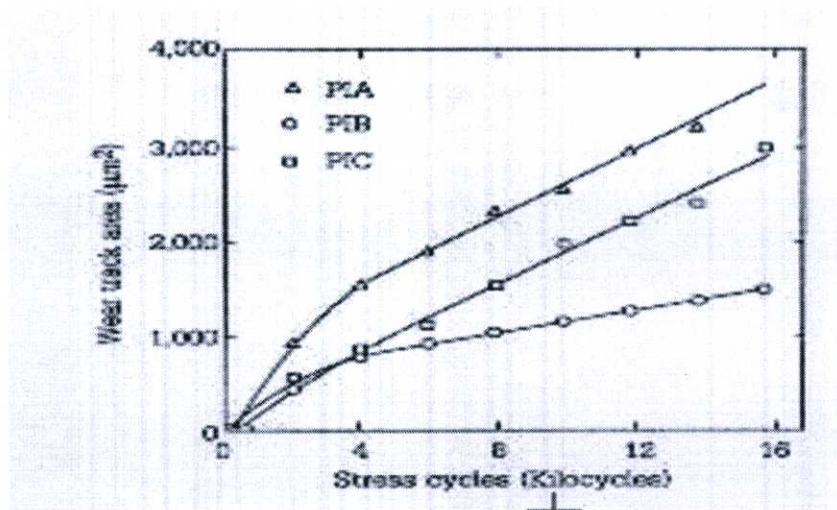
3.2 การควบคุมการสึกหรอของวัสดุโพลีเมอร์

การควบคุมการสึกหรอของโพลีเมอร์เป็นเรื่องที่ไม่ง่ายเท่าไรนัก แต่ก็มีเทคนิคที่จะช่วยลดหรือควบคุมปริมาณการสึกหรอให้เลือกใช้ได้หลายวิธี ได้แก่ การออกแบบโครงสร้างของโพลีเมอร์ให้มีความเหมาะสม การดัดแปลงพื้นผิวของโพลีเมอร์ การเสริมแรงโพลีเมอร์ด้วยอนุภาคหรือเส้นใย และการเตรียมวัสดุประเภทไอพีเอ็น (Interpenetrating network : IPN) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 การออกแบบโครงสร้าง การออกแบบให้โพลิเมอร์มีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอทำได้โดยการปรับปัจจัยทางจุลภาคข้อใดข้อหนึ่งใน 4 ข้อ

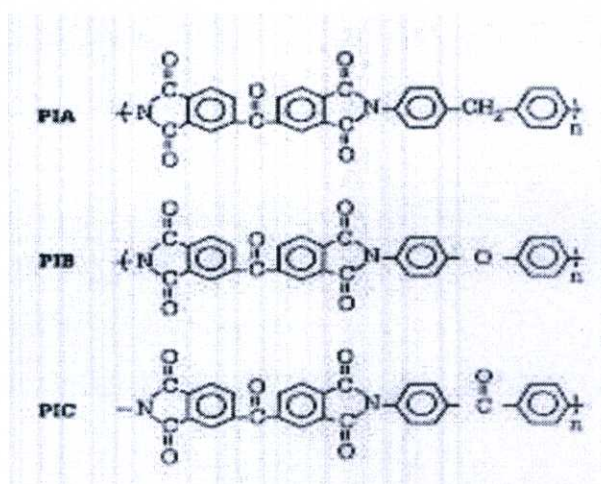
1. น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight และ Molecular weight distribution) น้ำหนักโมเลกุลจะมีผลต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการไหล (Rheological properties) ของโพลิเมอร์ ตัวอย่างที่เห็นได้อย่างเด่นชัด คือ วัสดุในกลุ่มโพลิเอทิลีน นั่นคือ โพลิเมอร์ชนิดโมเลกุลสูงพิเศษ หรือ Ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) ซึ่งจะสามารถควบคุมและต้านทานการสึกหรอได้ดีเนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลจะมีผลต่อพลังงานพื้นผิว และพลังงานที่ทำให้เกิดการแตกหักของโพลิเมอร์ โพลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีพลังงานในการต้านทานการแตกหักที่สูง นอกจากนี้น้ำหนักโมเลกุลและการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลจะมีผลต่อการเกิดรอยร้าว (Crazing : คือ รอยแตกแบบเส้นผมที่เกิดจากแรงดึงเนื่องจากความเค้นหรือเกิดจากการที่พื้นผิวหดตัวเร็วกว่าเนื้อภายใน) ตลอดจนสมบัติความต้านทานแรงดึง และความต้านทานแรงกระแทกอีกด้วย ซึ่งสมบัติเหล่านี้จะมีส่วนในการควบคุมการสึกหรอของโพลิเมอร์

2. โครงสร้างของสายโซ่โมเลกุล (Backbone structure) สายโซ่โมเลกุลของโพลิเมอร์แต่ละชนิดจะมีลักษณะที่ต่างกันไป กล่าวคือ โพลิเมอร์บางชนิดสายโซ่โมเลกุลจะมีความยืดหยุ่นดี ง่าย ในขณะโพลิเมอร์บางชนิดจะมีลักษณะสายโซ่แข็งตึง บิดงอได้ยาก หรือบางชนิดจะมีทั้ง 2 แบบคือ ความยืดหยุ่นและความแข็งอยู่ในสายโซ่เดียวกัน ซึ่งสายโซ่ที่มีความแข็งตึงจะมีผลทำให้โพลิเมอร์นั้นมีโมดูลัสที่สูงหรือมีความแข็งสูง หรือทั้งสองอย่าง และการจากศึกษาพบว่า ความต้านทานของการสึกหรอของโพลิเมอร์บางชนิดจะดีที่อุณหภูมิห้อง แต่จะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดสอบสูงขึ้น ยกตัวอย่างเช่น Polycarbonate polysulfone, Polyethersulfone (PES), Polyimide (PI), Polyamide-imide (PAI), Polyphenylene sulfide (PPS) และ Polyether ether ketone (PEEK) ซึ่งโพลิเมอร์เหล่านี้ล้วนแต่มีโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลที่แข็งตึงทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม ความแข็งตึงของสายโซ่โมเลกุลที่มากเกินไปก็ไม่จำเป็นเท่าไรนัก ความยืดหยุ่นเองก็สามารถเพิ่มความต้านทานการสึกหรอได้เช่นกัน จากงานวิจัยของ Jones และ Eiss [26] พบว่าเมื่อเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับโครงสร้างของโพลีอิมิด (Polyimide) ความต้านทานการสึกหรอที่เกิดจากการล้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ โพลีอิมิดที่มีพันธะของออกซิเจน (Oxygen linkage) อยู่ในโครงสร้างมีค่าการสึกหรอต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยโครงสร้างทางเคมีของโพลีอิมิดที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 จากผลการทดลองให้เห็นชัดเจนว่าโพลีอิมิดชนิด B จะมีการสึกหรอต่ำกว่าที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากพันธะออกซิเจนภายในสายโซ่โมเลกุลที่ส่งผลให้โมเลกุลมีความยืดหยุ่นกว่าโพลีอิมิดอีก 2 นั่นเอง



รูปที่ 3.5 การสึกหรอที่เกิดจากการล้าของโพลีอิมิดชนิดต่างๆ [26]

3. การจัดเรียงตัวของโมเลกุล (Microstructure) โครงสร้างทางสัณฐานวิทยาหรือการจัดเรียงตัวของโพลิเมอร์สามารถส่งผลต่อความต้านทานการสึกหรอของโพลิเมอร์ได้เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Tanaka แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) ของโพลิเมอร์นั้นจะมีความแข็งแรงน้อยกว่า ส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) ดังนั้น โครงสร้างส่วนที่เป็นอสัณฐานจะเกิดการสึกหรอได้มากกว่า นอกจากความแตกต่างของลักษณะโครงสร้างของโพลิเมอร์แล้วนั้น ขนาดของผลึกก็ยังมีผลต่ออัตราการสึกหรออีกด้วย ดังนั้นการควบคุมโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาโดยการควบคุมการเกิดผลึกของโพลิเมอร์จะเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยปรับปรุงความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของโพลิเมอร์ได้



รูปที่ 3.6 โครงสร้างของโพลีอิมิดที่มีการออกแบบโครงสร้างของสายโซ่โมเลกุลให้มีความยืดหยุ่นต่างกัน

4. **โครงสร้างผลึกเหลว (Liquid crystalline structure)** จากการศึกษาพบว่า โพลีเมอร์ผลึกเหลว หรือ Liquid crystalline polymer บางชนิดจะมีความสามารถในด้านทานการสึกหรอที่ดี ตัวอย่างของโพลีเมอร์ผลึกเหลวที่รู้จักกันดีก็คือ เคฟลาร์ (Kevlar) หรือ Poly (Phenylenephthalamide) ซึ่งมีความต้านทานการขีดถูสูงและนิยมใช้ทำวัสดุที่ต้องรับแรงเสียดทานและด้านทานการสึกหรอ เช่น เบรกของรถบรรทุก เบรกจักรยานยนต์ เป็นต้น

3.2.2 **การดัดแปลงพื้นผิว (Surface Modification)** นอกจากการออกแบบโครงสร้างของโพลีเมอร์แล้ว วิธีการที่นิยมใช้การเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอของโพลีเมอร์ก็คือ การดัดแปลงสภาพพื้นผิวเพื่อให้มีการสึกหรอต่ำ การเสียดทานต่ำหรือทั้ง 2 อย่าง ซึ่งสามารถทำได้ 3 วิธีคือ

1. **Plasma treatment** การดัดแปลงสภาพพื้นผิวด้วยเทคนิคพลาสมาเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยสามารถกราฟต์โมโนเมอร์ลงไปบนผิวหน้าของโพลีเมอร์ได้ ยกตัวอย่างเช่น การกราฟต์โมโนเมอร์ชนิดเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Tetrafluoroethylene) หรือเฮกซะฟลูออโรเอทิลีน (Hexafluoroethylene) ลงไปบนเส้นใยชนิดโพรพิลีน (Polypropylene) ซึ่งจะช่วยให้สมบัติทางด้านทานการสึกหรอดีขึ้น เช่น สามารถทำให้เส้นใยดังกล่าวมีแรงเสียดทานลดลง นอกจากนี้การดัดแปลงพื้นผิวด้วยเทคนิคพลาสมาโดยใช้ก๊าซออกซิเจนหรือก๊าซเฉื่อย ยังสามารถทำให้เกิดพันธะเชื่อมขวาง (Cross-linked) บนพื้นผิว ซึ่งจะมีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอได้มากกว่าพื้นผิวที่ไม่มีพันธะเชื่อมขวางหรือแม้กระทั่งการดัดแปลงพื้นผิวอินทรีย์ ให้กลายเป็นพื้นเซรามิกซึ่งจะมีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอและการกัดกร่อนที่ดีกว่า

2. **Surface photopolymerization** นอกจากการดัดแปลงพื้นผิวด้วยการใช้พลาสมาดังที่กล่าวมาแล้วนั้น อีกเทคนิคซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันกว้างขวางสำหรับการดัดแปลงพื้นผิวโพลีเมอร์และโลหะที่มีความหนาน้อยกว่า 500 อังสตรอม (Å) ก็คือ การดัดแปลงโดยใช้แสงอุตราไวโอเล็ต (UV) โดยเทคนิคนี้จะเป็นการ โพลีเมอไรซ์ โมโนเมอร์บางชนิดลงบนพื้นผิวโพลีเมอร์ด้วยแสง UV ซึ่งภายหลังจากการโพลีเมอไรซ์แล้วนั้น โพลีเมอร์ที่เตรียมได้จะมีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอที่ดีขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การโพลีเมอไรซ์เตตระฟลูออโรเอทิลีนและไวนิลโมโนเมอร์อื่นๆ เช่น อิมิด แอนไฮไดรด์ (Anhydrides) ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturated hydrocarbon) และคีโตน (Ketone) เป็นต้น

3. **Silicone modification** นอกจากวิธีทั้ง 2 วิธีที่กล่าวมา การดัดแปลงพื้นผิวด้วยซิลิโคนก็ทำให้โพลีเมอร์มีค่าความเสียดทานต่ำและมีการสึกหรอบริเวณพื้นผิวที่ต่ำเช่นกัน เช่น การดัดแปลงพื้นผิวโพลีคาร์บอนเนตด้วยสารประกอบไฮบริดระหว่างซิลิโคนและซิลิกาก็สามารถทำให้โพลีคาร์บอนเนตมีความสามารถในการต้านทานการขีดถูและการขีดข่วนที่ดีเทียบเท่าโลหะได้

3.2.3 การเสริมแรงด้วยอนุภาคหรือเส้นใย (Particulate หรือ Fibrous Reinforcement)

วิธีการนี้ คือ การทำวัสดุเชิงประกอบหรือคอมโพสิตโดยการเสริมแรงโพลิเมอร์ด้วยอนุภาคหรือเส้นใย ในกรณีของการใช้อนุภาคเสริมแรงนั้นนิยมใช้วัสดุประเภทอิลาสโตเมอร์ เพื่อใช้เพิ่มพลังงานในการแตกหักให้กับโพลิเมอร์ที่เป็นเนื้อหลักหรือเมทริกซ์ซึ่งมีความเปราะ เช่น การเติมอนุภาคของยางเข้าไปในโพลีอิมิดและเรซินอีพอกซี (Epoxy resin) ซึ่งมีความเปราะและมีพลังงานในการแตกหักที่ต่ำ พบว่าภายหลังจากการเติมอนุภาคของยางแล้ว พลังงานในการแตกหักของวัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้มีค่าเพิ่มขึ้นหลายเท่า ซึ่งจะส่งผลให้ความต้านทานในการล้าเพิ่มขึ้นอีกด้วย อย่างไรก็ตาม พบว่าการเติมผงกราฟไฟต์ลงไปโพลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene : HDPE) ในปริมาณ 30 % นอกจากจะไปเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 2 เท่าแล้วยังไปเพิ่มค่าอัตราการสึกหรออีกประมาณ 30 % ด้วย ดังนั้นกราฟไฟต์จึงไม่เหมาะที่จะใช้เป็นตัวเติมหรือ Filler ให้กับ HDPE ซึ่งต่างจากกรณีของ Teflon หรือ PTFE (Polytetrafluoroethylene) ที่การเติมผงกราฟไฟต์จะไปลดอัตราการสึกหรอลงได้เป็นอย่างดี

สำหรับในกรณีการใช้เส้นใยเสริมแรงนั้นก็สามารถทำให้โพลิเมอร์ เช่น โพลีอิมิด มีความต้านทานการสึกหรอเพิ่มขึ้นได้เช่นกันเส้นใยที่นิยมนำมาใช้เสริมแรง ได้แก่ เส้นใยกราไฟต์ เส้นใยคาร์บอน เส้นใยแก้ว และเส้นใยเคฟลาร์ อย่างไรก็ตาม วัสดุเชิงประกอบที่เตรียมได้จะมีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอต่างกันออกไปตามชนิดของวัสดุที่มาสัมผัสและก่อให้เกิดการสึกหรอ เช่นวัสดุเชิงประกอบระหว่างกราไฟต์และโพลีอิมิดจะสามารถต้านทานการสึกหรอบนพื้นผิวเซรามิกประเภทซิลิกอนไนไตรด์ได้น้อยกว่าพื้นผิวโลหะประเภทเหล็กกล้าภายใต้ภาวะการทดสอบเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องจากความขรุขระของเส้นใยกราไฟต์และอุณหภูมิระหว่างผิวสัมผัสที่สูงกว่า ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพการหล่อลื่นของวัสดุเชิงประกอบเมื่อสัมผัสกับซิลิกอนไนไตรด์ลดลง อย่างไรก็ตาม พบว่า การเติมสารหล่อลื่นของแข็งก็ส่งผลต่อการสึกหรอเช่นกัน กล่าวคือพบว่า เมื่อเติม MoS₂ จะส่งผลให้แรงเสียดทานระหว่างวัสดุเชิงประกอบและซิลิกอนไนไตรด์ลดลงอย่างมากเช่นกัน นั่นคือ วัสดุเชิง WSe₂/GaIn นอกจากนี้ความขรุขระของเส้นใยก็มีผลต่อการสึกหรอของวัสดุเชิงประกอบเช่นกัน นั่นคือ วัสดุเชิงประกอบที่มีเส้นใยกราไฟต์ที่หยาบจะให้ค่าการสึกหรอและการเสียดทานที่สูงกว่าวัสดุเชิงประกอบที่มีเส้นใยละเอียด

3.2.4 การเตรียมวัสดุประเภทไอพีเอ็น (Inter Penetrating network : IPN) การออกแบบหรือวิธีการควบคุมการสึกหรอวิธีสุดท้าย คือ การเตรียมโพลิเมอร์ให้มีลักษณะโครงสร้างตาข่ายที่แทรกหรือเกี่ยวพันกันระหว่างโพลิเมอร์สองชนิดหรือมากกว่า ซึ่งไม่สามารถจะแยกแต่ละเฟสออกจากกันได้โดยวิธีการทางกายภาพ โดยทั่วไปแล้วจะสามารถเตรียมได้จากการโพลิเมอไรซ์โมโนเมอร์เข้าไปภายในโครงสร้างที่เป็นตาข่ายที่มีการเชื่อมขวาง (Cross-linked network) เพื่อให้เกิดเป็นโพลิเมอร์ไอพีเอ็นชนิดเทอร์โมเซต (Thermosetting IPN) นอกจากไอพีเอ็นชนิดเทอร์โมเซตแล้วก็มี การสร้างไอพีเอ็นชนิดเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic IPN) เช่นกัน ซึ่งจะ เป็น โครงสร้างตาข่ายที่

ไม่มีพันธะเชื่อมขวาง (Non-cross-linked network) กล่าวคือ เป็นโพลิเมอร์ที่สามารถไหลตัวได้ที่อุณหภูมิสูงและสามารถเกิดพันธะเชื่อมขวางที่อุณหภูมิต่ำ ยกตัวอย่างเช่น เทอร์โมพลาสติก อีลาสโตเมอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นไทรบล็อกโคโพลิเมอร์ ประกอบด้วยเฟสที่เป็นยางตรงกลางและล้อมรอบด้วยเฟสที่มีลักษณะเป็นแก้ว (Glassy phase) ดังนั้นที่สถานะอุณหภูมิเหนือ T_g ทั้งสองเฟสสามารถไหลไปด้วยกันได้ แต่ที่อุณหภูมิต่ำ โครงสร้างของวัสดุประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นยางอยู่ตรงกลาง และมีพันธะทางกายภาพของโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายแก้วอยู่รอบๆ ซึ่งโครงสร้างแบบไอพีเอ็นนี้พบว่าโพลิเมอร์มีความเหนียว (Toughness) เพิ่มมากขึ้น แต่ก็ยังไม่มีการศึกษาโดยตรงว่าโครงสร้างแบบนี้จะมีผลมากน้อยเพียงใดต่อการต้านทานการสึกหรอของโพลิเมอร์

3.3 การปรับปรุงอายุการใช้งานของซีล

3.3.1 หลักการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีล

สำหรับหลักการที่ใช้ในการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลให้นานขึ้นที่นำมาพิจารณาในการทดลองครั้งนี้ คือ

1. การใช้สารหล่อลื่น

การใช้สารหล่อลื่นเป็นการทำให้ซีลยืดอายุการใช้งานขึ้นได้ เพราะเป็นการลดแรงเสียดทานขณะมีการเคลื่อนที่ แต่เนื่องจากการใช้งานจริงไม่มีการใช้สารหล่อลื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการทดลองนี้จึงไม่มีการใช้สารหล่อลื่น

2. การเลือกใช้วัสดุต่างชนิดกัน

การเลือกใช้วัสดุหลายๆชนิดเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดจากวัสดุแต่ละชนิดที่แตกต่างกันว่าวัสดุชนิดใดให้อายุการใช้งานของซีลยาวนานที่สุด แต่ในการทำงานจริง มีขอบเขตจำกัด ไม่มีการใช้วัสดุชนิดอื่นๆ นอกจากวัสดุชนิดเดิม การทดลองนี้จึงไม่มีการเลือกใช้วัสดุชนิดอื่นด้วย

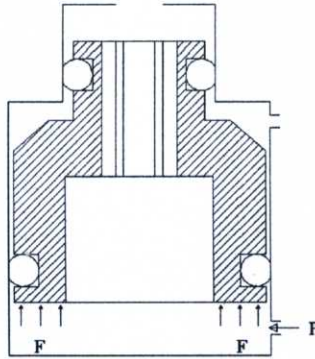
3. การเพิ่มขนาดของซีล

การเพิ่มขนาดของซีลให้มากขึ้นโดยใช้วัสดุชนิดเดิมเป็นอีกวิธีหนึ่งในการเพิ่มอายุการใช้งานของซีล เพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการรับแรง ซึ่งจะส่งผลให้ความดันเมื่อรับแรงขนาดที่เท่าๆกันกับซีลขนาดเดิม

โดยสรุป กระบวนการที่นำมาใช้ในการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลในการทดลองนี้คือ การเพิ่มขนาดของซีลขึ้นอีก 25 % จากขนาดเดิม ซึ่งก็คือซีลขนาดเดียวกันกับที่ใช้ในงานในอีก 2 ตำแหน่งที่เหลือ

3.3.2 ความเค้นที่เกิดจากซีลขนาดเก่าและขนาดใหญ่

3.3.2.1 แรงที่กระทำกับชุดจับยึดหัวอ่าน



รูปที่ 3.7 แสดงแรงที่กระทำกับชุดจับยึดหัวอ่านขณะเคลื่อนที่ขึ้น

เมื่อป้อนแรงดัน (P) เข้าระบบ จะเกิด แรง (F) ที่ทำให้ระบบเกิดการเคลื่อนที่ขึ้น พิจารณาได้ดังสมการ

$$F = P * A \tag{3.1}$$

โดยที่

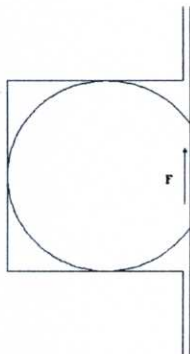
$$A = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)$$

ดังนั้น

$$F = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) * P \tag{3.2}$$

จะพบว่า แรง (F) จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่องสวมและความดัน (P) ใช้

3.3.2.2 ความเค้นของซีลขนาดเก่า



รูปที่ 3.8 แสดงการรับความเค้นของซีลขนาดเก่า

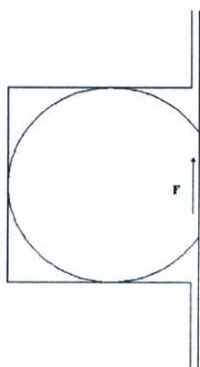
เมื่อป้อนความดัน (P) เข้าไปในระบบ จะเกิดแรง (F) ซึ่งเป็นแรงที่ไปกระทำกับซีลให้เกิดการเคลื่อนที่เช่นเดียวกัน พื้นที่รับแรงหาได้จากภาคผนวก ฉ ความเค้นเฉือนที่ซีล หาได้ดังสมการ

$$\tau_o = \frac{F}{a_o} \quad (3.3)$$

แทนค่า F จากสมการ (3.2) ลงในสมการ (3.3) จะได้

$$\tau_o = \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2) * P}{4 * a_o} \quad (3.4)$$

3.3.2.3 ความเค้นของซีลขนาดใหม่



รูปที่ 3.9 แสดงการรับความเค้นของซีลขนาดใหม่

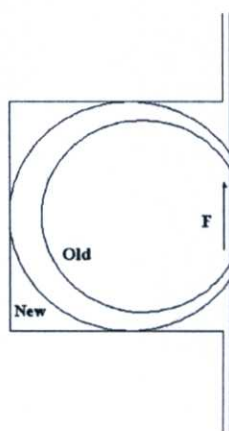
เมื่อป้อนความดัน (P) เข้าไปในระบบ จะเกิดแรง (F) ซึ่งเป็นแรงที่ไปกระทำกับซีลให้เกิดการเคลื่อนที่เช่นเดียวกัน พื้นที่รับแรงหาได้จากภาคผนวก ฉ ความเค้นเฉือนที่ซีล หาได้ดังสมการ

$$\tau_N = \frac{F}{a_N} \quad (3.5)$$

แทนค่า F จากสมการ (3.2) ลงในสมการ (3.5) จะได้

$$\tau_N = \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2) * P}{4 * a_N} \quad (3.6)$$

3.3.2.4 การเปรียบเทียบพื้นที่รับแรงของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่



รูปที่ 3.10 แสดงการเปรียบเทียบพื้นที่การรับแรงของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่

ซีลแบบเก่ามีขนาดเท่ากับ 0.110*0.020 นิ้ว แต่ ซีลแบบใหม่มีขนาดเท่ากับ 0.090*0.025 นิ้ว ซึ่งจะพบว่าซีลแบบใหม่มีความหนามากกว่าซีลแบบเก่าเท่ากับ 0.005 นิ้ว หรือ เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม 25% และในการกักรองสวมซีลแบบใหม่จึงต้องกักรองลงไปให้ลึกกว่าร่องสวมซีลแบบเก่าด้วย อย่างไรก็ตาม ซีลแบบใหม่ก็ยังมีพื้นที่ในการถูกบีบอัดมากกว่าซีลแบบเก่า โดยที่มีระยะ Clearance เท่ากับ 0.002087 นิ้ว หรือ 0.053 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.10 เพื่อรักษาความเป็นซีลในการป้องกันการรั่วไหลของของไหลที่ใช้งานในระบบ

จากภาคผนวก ฉ จะพบว่า

$$a_N > a_O \quad (3.7)$$

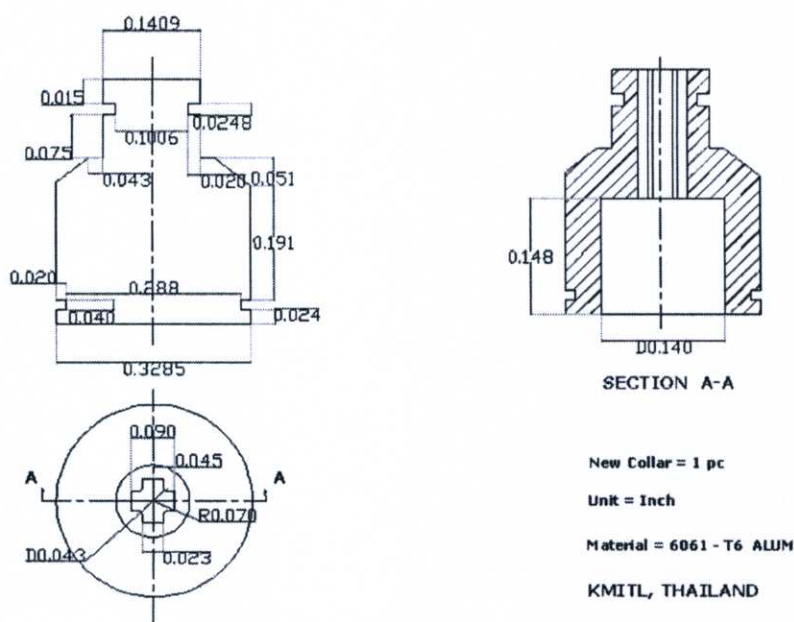
จะพบว่า ที่เงื่อนไขการทำงานความดัน (P) เดียวกัน จะได้ว่า

$$\tau_N < \tau_O \quad (3.8)$$

แสดงว่า การเพิ่มพื้นที่ในการรับแรงของซีลทำให้ความเค้นเฉือนลดลงได้

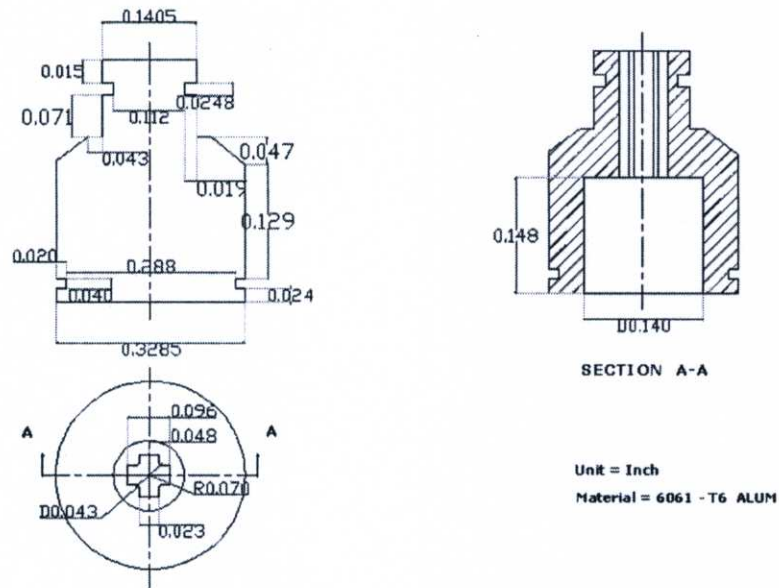
ในการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีล จึงอาศัยสมมติฐานการเพิ่มพื้นที่ในการรับแรงของซีลมาประยุกต์ใช้ เพื่อเป็นการยืนยันว่า ถ้าลดความเค้นเฉือนลงได้ การสึกหรอของซีลก็น่าจะลดลง อันจะส่งผลให้ซีลมีอายุการใช้งานได้ยาวนานขึ้น

3.3.3 ลำดับการออกแบบร่องสวมซีลขนาดใหม่



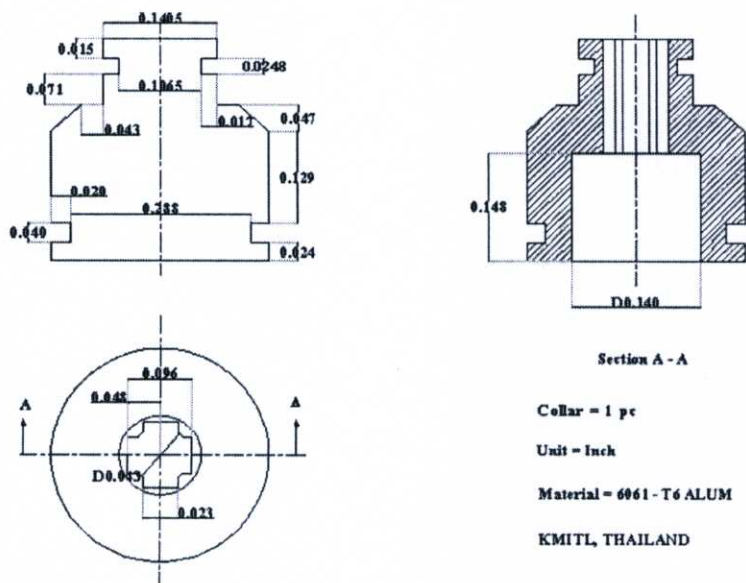
รูปที่ 3.11 แสดงการออกแบบร่องสวมซีลลำดับที่ 1

ร่องสวมซีลที่ใช้ในการออกแบบลำดับแรก มีความลึกเท่ากับ 0.020 นิ้ว จะมีส่วนที่ยื่นออกมาเท่ากับ 0.005 นิ้ว ใช้หลักการออกแบบด้วยการเปรียบเทียบกับขนาดของร่องสวมซีลแบบเก่า ขนาดร่องสวมซีลค่านี ระบบเคลื่อนที่ได้แต่ซีลทำหน้าที่ได้ไม่ดีเพราะมีการรั่วของลมออกไปจากระบบ ซึ่งใช้การวัดด้วย เกจวัดความดัน จึงถือว่าร่องสวมซีลค่านี้อาจใช้ไม่ได้ จึงไม่ได้นำไปทดลอง และได้มีการออกแบบใหม่ต่อไป



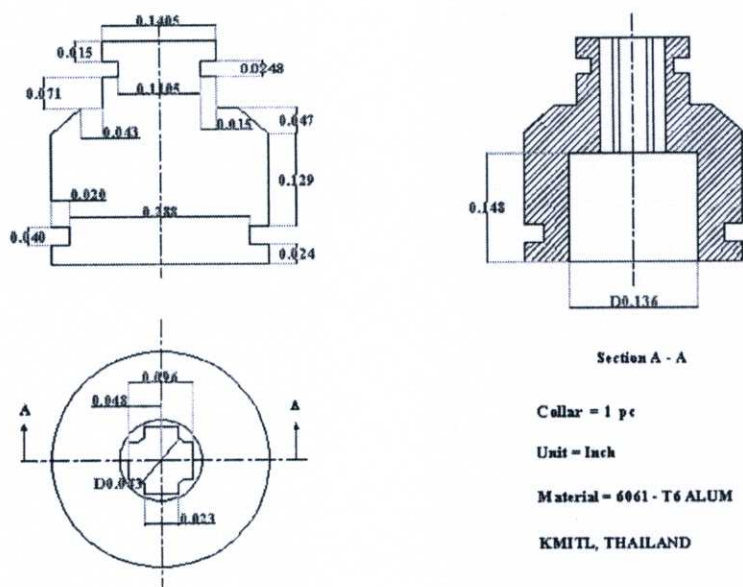
รูปที่ 3.12 แสดงการออกแบบร่องสวมซีลลำดับที่ 2

ร่องสวมซีลที่ใช้ในการออกแบบลำดับที่ 2 มีความลึกเท่ากับ 0.019 นิ้ว จะมีส่วนที่ยื่นออกมาเท่ากับ 0.006 นิ้ว ร่องสวมซีลค่านี้อาจจะเคลื่อนที่ได้แต่ซีลทำหน้าที่ได้ไม่ดีเพราะมีการรั่วของลมออกไปจากระบบ ซึ่งใช้การวัดด้วย เกจวัดความดัน จึงได้ออกแบบร่องสวมซีลค่าใหม่



รูปที่ 3.13 แสดงการออกแบบร่องสวมซีลลำดับที่ 3

ร่องสวมซีลที่ใช้ในการออกแบบลำดับที่ 3 มีความลึกเท่ากับ 0.017 นิ้ว จะมีส่วนที่ยื่นออกมาเท่ากับ 0.008 นิ้ว ร่องสวมซีลค่านี้ ระบบเคลื่อนที่ได้และซีลก็ทำหน้าที่ได้ดี เพราะไม่มีลมรั่วไหลออกมาขณะเริ่มเคลื่อนที่ ซึ่งใช้การวัดด้วย เกจวัดความดัน จึงทำการทดลองด้วยค่าของร่องสวมซีลที่ค่านี้



รูปที่ 3.14 แสดงการออกแบบร่องสวมซีลลำดับที่ 4

ร่องสวมซีลที่ใช้ในการออกแบบลำดับที่ 4 มีความลึกเท่ากับ 0.015 นิ้ว จะมีส่วนที่ยื่นออกมาเท่ากับ 0.010 นิ้ว ร่องสวมซีลค่านี้ ระบบไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เพราะมีส่วนที่ยื่นออกมามากเกินไปจนความดันไม่สามารถผลักดันให้ชุดจับยึดหัวอ่านเคลื่อนที่ได้ ในการออกแบบร่องสวมซีลค่านี้ก็เพื่อหาค่าขอบเขตจำกัดของร่องสวมซีล ซึ่งพบว่า ถ้าออกแบบร่องสวมซีลที่มีความลึกน้อยกว่าหรือเท่ากับค่านี้แล้วระบบจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เลย

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 บทนำ

การทดลองเพื่อดูผลของการเกิดการสึกหรอของซิลแต่ละ โมเดลของชุดจับยึดหัวอ่านเพื่อทำการปรับปรุงอายุการใช้งานของซิลให้นานขึ้น โดยที่แบบจำลองการทำงานของชุดจับยึดหัวอ่านได้ถูกสร้างขึ้นด้วยอุปกรณ์ของชุดจับยึดหัวอ่านชุดเดียวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงานจริงและมีเงื่อนไขการทดลองเหมือนกับเงื่อนไขการทำงานจริง คือ ทำการทดลองในห้องปรับอากาศเพื่อให้เงื่อนไขการทดลองเหมือนเงื่อนไขการทำงานจริง

4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

4.2.1 ปัมลม (Air Compressor)

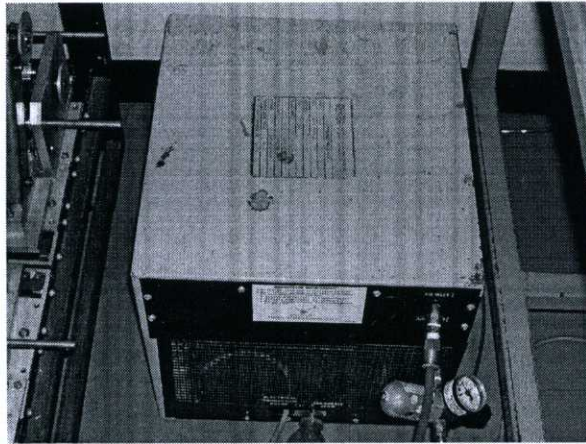
ปัมลมมีหน้าที่ในการดูดอัดอากาศเข้ามาเก็บไว้ในถังพักและนำออกไปใช้งานเมื่อมีความต้องการในการใช้งาน โดยปัมลมที่ใช้ในการทดลองนี้ มีกำลังแรงม้าเท่ากับ 3 แรงม้า, ความสามารถในการดูดอัดอากาศเท่ากับ 250 ลิตรต่อนาที และความดันในการใช้งานได้สูงสุดเท่ากับ 10 บาร์



รูปที่ 4.1 แสดงปัมลมที่ใช้ในการทดลอง

4.2.2 เครื่องทำอากาศแห้ง (Air Dryer)

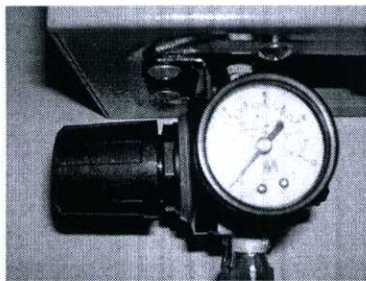
เครื่องทำอากาศแห้งมีหน้าที่ในการควบคุมความชื้นของอากาศที่ส่งมาจากปัมลม เพราะอากาศที่ถูกส่งมาจากปัมลมยังมีความชื้นจากบรรยากาศปะปนอยู่ด้วยก่อนนำเอาลมอัดนี้ไปใช้งานจริงต้องทำการควบคุมความชื้นเพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดกับอุปกรณ์ชิ้นอื่นๆต่อไป



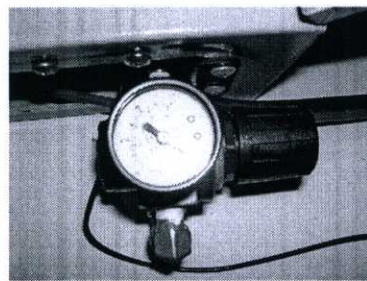
รูปที่ 4.2 แสดงเครื่องทำอากาศแห้ง

4.2.3 เกจวัดความดัน (Pressure Gauge)

เกจวัดความดัน หรือ Pressure Gauge เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดความดันของอากาศก่อนนำไปใช้งานในระบบเพื่อเป็นการตรวจวัดว่าความดันที่จะนำไปใช้งานในระบบนั้นตรงตามความต้องการของอุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบหรือไม่ ซึ่งเกจวัดความดันสามารถปรับเปลี่ยนค่าความดันได้ตามความต้องการใช้งานในระบบ



เคลื่อนที่ขึ้น

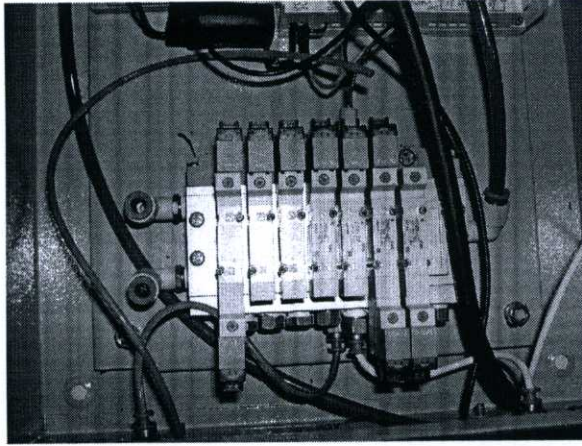


เคลื่อนที่ลง

รูปที่ 4.3 แสดงเกจวัดความดัน

4.2.4 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve)

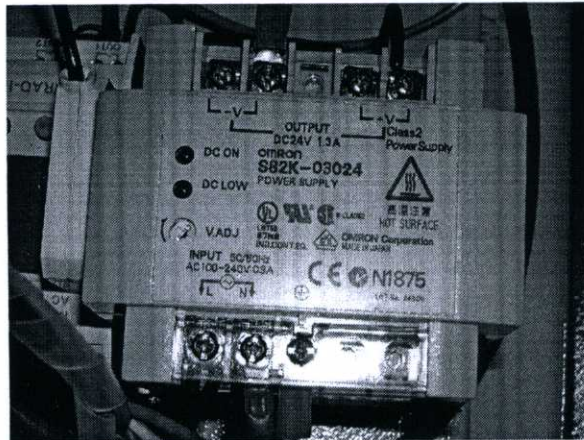
โซลินอยด์วาล์ว หรือ Solenoid Valve เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานในระบบนิวแมติกส์ทำหน้าที่ในการปรับทิศทางการไหลของอากาศที่ใช้งานในระบบ โดยโซลินอยด์วาล์วที่ใช้งานในระบบนี้จะ เป็นโซลินอยด์วาล์วแบบ 5/2



รูปที่ 4.4 แสดงโซลินอยด์ควาล์ว

4.2.5 ชุดจ่ายไฟกระแสตรง (DC Supply)

ชุดจ่ายไฟกระแสตรงทำหน้าที่ในการปรับไฟฟ้ากระแสสลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำไปใช้ในระบบที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 4.5 แสดงชุดจ่ายไฟกระแสตรง

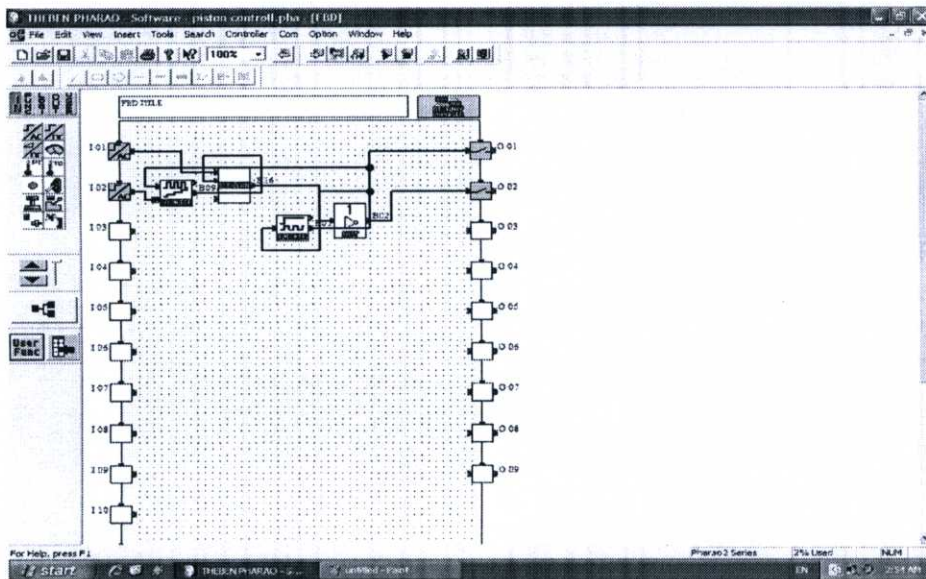
4.2.6 Programmable Logic Controller, (PLC)

Programmable Logic Controller หรือ PLC เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการปิด/เปิด Port การทำงานของโซลินอยด์ควาล์วให้เป็นไปตามการทำงานของระบบที่ได้ตั้งค่าเอาไว้

หลักการการทำงานของ PLC

สำหรับโปรแกรม PLC จะใช้โปรแกรม Therben ในการควบคุม ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบ GUI

(Graphics User Interface) โดยเมื่อจ่ายไฟเลี้ยงเข้า PLC จะปรากฏที่ Input ว่ามีไฟเข้าและจะจ่ายไฟไปที่ Flicker ซึ่งใช้กำหนดการต่อติดไฟ โดยที่กำหนดให้ต่อไฟหกวินาทีสลับกับตัดไฟหกวินาที ซึ่งจะมีสัญญาณไปถึง Timer ซึ่งใช้กำหนดจำนวนรอบที่ต่อติดจนครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้แล้วให้ตัดไฟออกจากระบบและไฟก็จะจ่ายไปที่ Output ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่ามีไฟเข้า ซึ่งจะเกิดการเหนี่ยวนำ Relay Switch ให้ไฟที่ป้อนเข้า PLC ขนาด 24 V ตัดวงจรนำไปเลี้ยง Solenoid Valve ต่อไปซึ่งจะทำให้ลมป้อนที่ขาเข้า Collar หกวินาทีสลับกับป้อนลมที่ขาออกหกวินาทีไปเรื่อยๆจนครบจำนวนรอบที่กำหนด

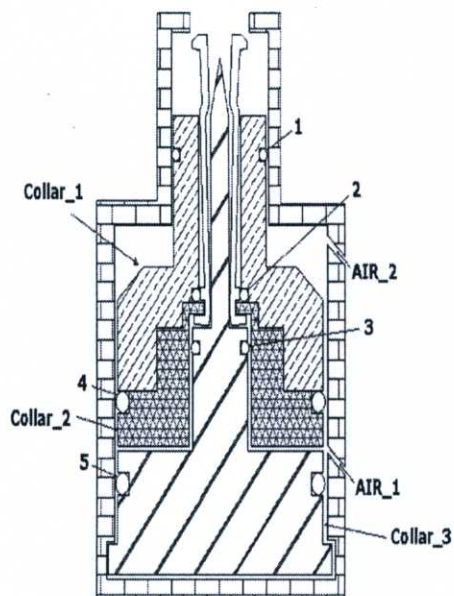


รูปที่ 4.6 แสดง Programmable Logic Controller, (PLC)

4.2.7 ชุดจับยึดหัวอ่าน (HGA Clamp)

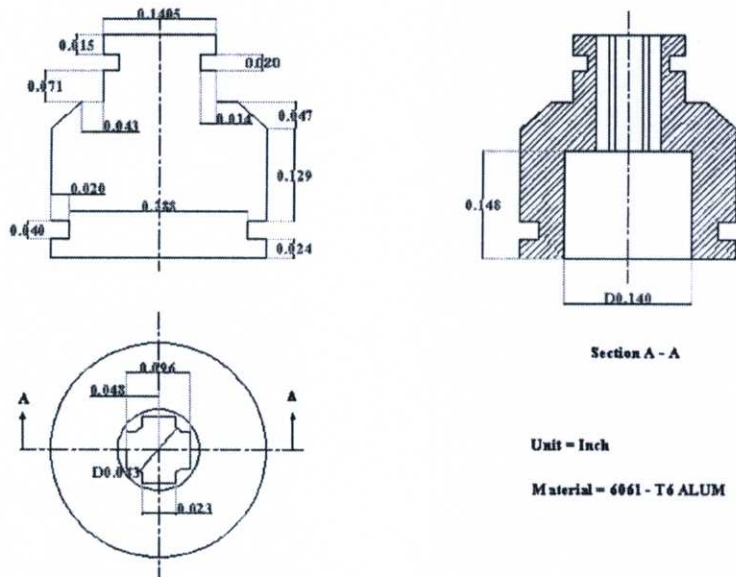
4.2.7.1 หลักการทำงานของชุดจับยึดหัวอ่าน

เมื่อแรงดันเข้าที่ทางเข้าที่ 1 จะทำให้ Collar ชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 เคลื่อนที่ขึ้นไปพร้อมกันจนสุดระยะแล้วจะทำการค้างเอาไว้เป็นเวลา 6 วินาที เพื่อให้ก้านตรงปลายทำการจับยึดหัวอ่านเอาไว้เพื่อทำการตรวจสอบสมบัติต่างๆของหัวอ่าน หลังจากผ่านไปแล้ว 6 วินาที แรงดันก็จะเข้าที่ทางเข้าที่ 2 ซึ่งจะทำให้ Collar ชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 เคลื่อนที่ลงไปพร้อมกันจนถึงระยะต่ำสุด ซึ่งจะค้างเวลาเอาไว้ 6 วินาที จึงเคลื่อนที่ขึ้นและลงอย่างนี้ไปเรื่อยๆ โดยสรุปคือ ในการเคลื่อนที่ขึ้นและลง 1 รอบ จะใช้เวลา 12 วินาที นั่นคือ มีการเคลื่อนที่ 5 รอบต่อนาที หรือ 300 รอบต่อชั่วโมง รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 4.7 และ ขนาดของซีลในการใช้งานสามารถดูได้จากภาคผนวก จ



รูปที่ 4.7 แสดงส่วนประกอบและการทำงานของชุดจับยึดหัวอ่าน (HGA Clamp)

4.2.7.2 ชุดจับยึดหัวอ่านขนาดเก่า



รูปที่ 4.8 แสดงรายละเอียดของชุดจับยึดหัวอ่านขนาดเก่า

4.2.8 ซีล (Seal)

4.2.8.1 วัสดุที่ใช้ทำซีล

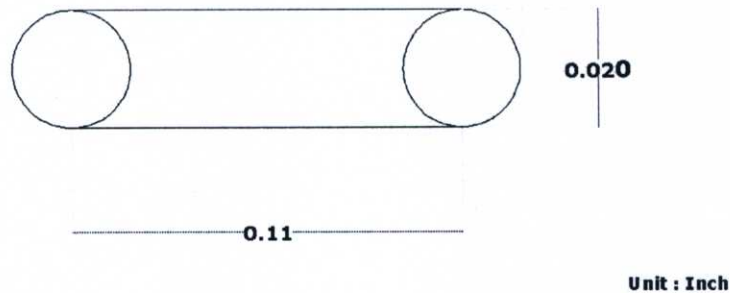
สำหรับวัสดุที่ใช้ในการทำซีลในการทดสอบนี้ จะใช้วัสดุในกลุ่มอีลาสโตเมอร์ที่มีชื่อว่า Butadiene-acrylonitrile หรือ Buna-N หรือ NBR ซึ่งมีสมบัติทางกล แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการทำซีล

Compound	Color	Hardness Shoe A	Tensile MPa (psi)	Elongation %	22Hr C/S@ 100C	Low Temp	High Temp
B1000	Black	70	15.0 (2,150)	400	10	-40° C (-40° F)	120° C (248° F)

4.2.8.2 ซีลขนาดเก่า

ซีลแบบเก่าเป็นวัสดุอีลาสโตเมอร์ชนิด NBR โดยที่ซีลมีค่าความแข็งเป็น 70 Shoe A และมีขนาดแสดงดังรูปที่ 4.9

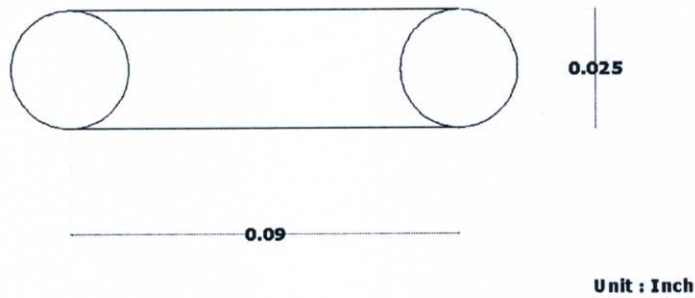


รูปที่ 4.9 แสดงรายละเอียดของซีลขนาดเก่า

4.2.8.3 ซีลขนาดใหม่

ซีลแบบใหม่เป็นวัสดุอีลาสโตเมอร์ชนิด NBR โดยที่ซีลมีค่าความแข็งเป็น 70 Shoe A และมีขนาดแสดงดังรูปที่ 4.10 เหตุผลที่เลือกซีลขนาดนี้ เพื่อลดความเค้นเฉือนและต้องการลด

ขนาดการใช้งานของซีลให้เหลือเพียง 2 ขนาด เพื่อความสะดวกในการใช้งานและการจัดซื้อ

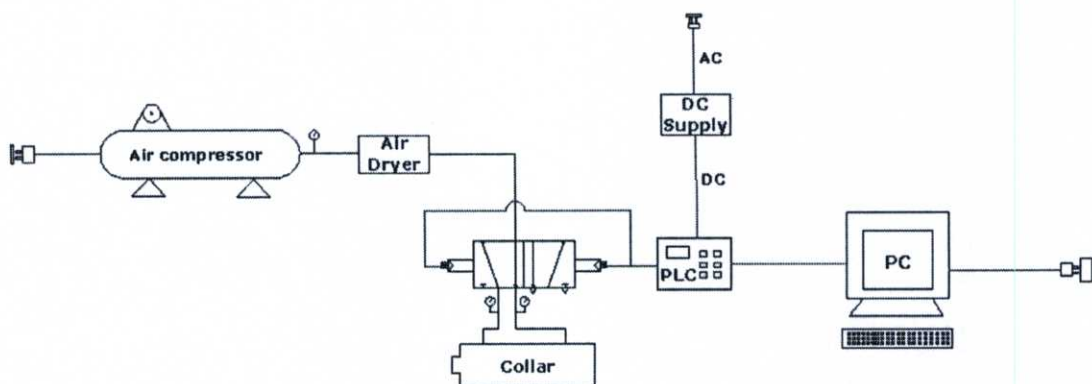


รูปที่ 4.10 แสดงรายละเอียดของซีลขนาดใหม่

4.3 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

4.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อากาศจากปั๊มลมที่ผ่านเครื่องทำอากาศแห้งจะเข้าสู่ชุดจับยึดหัวอ่านโดยผ่านโซลินอยด์วาล์วที่มีการควบคุมจังหวะการปิด/เปิดด้วย PLC ก่อนที่ลมจะไปบังคับการเคลื่อนที่ของชุดจับยึดหัวอ่าน รายละเอียดการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11

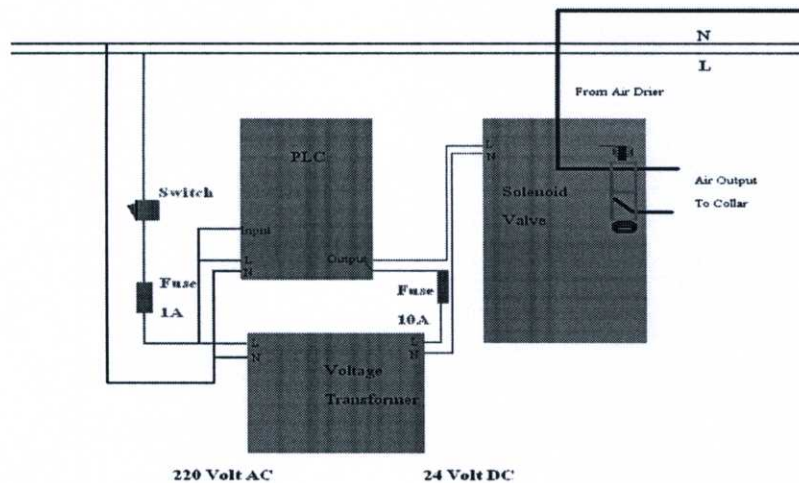


รูปที่ 4.11 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.3.2 วงจรควบคุมการทำงาน

ขั้นตอนการทำงานในวงจรควบคุม

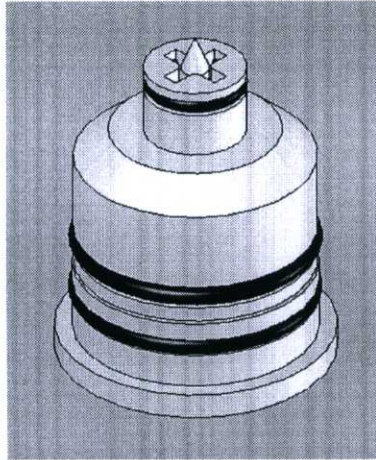
การควบคุมวงจรเริ่มจากจ่ายไฟ 220 V เข้า PLC ในส่วนไฟเลี้ยงส่วน Input ให้ฟิวส์ขนาด 1 A และสวิตช์สำหรับตัดวงจรเข้าไฟเลี้ยงอีกส่วนนำไปป้อนกับวงจรแปลงกระแสตรง 24 V ใช้ฟิวส์ขนาด 10 A ต่อไฟด้าน 24 V ต่อไฟไปที่ PLC เพื่อรอการติดวงจรจากโปรแกรมที่ทำไว้ ไฟที่ออกจาก PLC จะนำไปเลี้ยง Solenoid Valve เพื่อปรับเปลี่ยนทิศทางลม ลมที่ออกจะมีสองส่วน สำหรับกระบอกสูบในทั้งขาขึ้นและขาลง



รูปที่ 4.12 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของระบบ

4.4 การทดลองและบันทึกผลการทดลอง

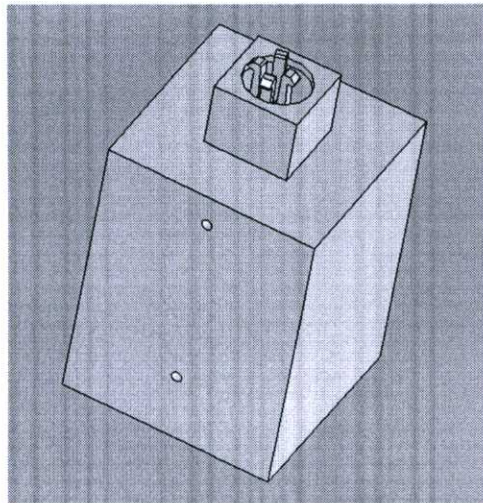
1. ทำการชั่งน้ำหนักของซิลิโคนที่ 1 ก่อนการประกอบเข้ากับชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์บันทึกค่าที่ได้
2. ประกอบซิลิโคนที่ 1 และซิลิโคนอื่นๆเข้ากับชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์
3. ประกอบชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ประกอบซิลิโคนทุกชุดเข้ากับชุดยึดชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์
4. ปรับค่าความดันที่ทางเข้าที่ 1 และทางเข้าที่ 2 ของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไว้ที่ 3.0 บาร์ และจำนวนรอบตั้งค่าไว้ที่ 2,000 รอบ
5. หลังจากเดินเครื่องได้ครบ 2,000 รอบแล้วให้หยุดการเดินเครื่องและถอดชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ออกจากชุดยึดชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 4.13 แสดงการประกอบซีลเข้ากับชุดจับยึดหัวอ่าน

6. นำชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไปดูสภาพการสึกหรอของพื้นผิวของซีลชุดที่ 1 ด้านที่สัมผัสกับคู่มือสัมผัสขณะเคลื่อนที่ ประมาณ 3 จุด บันทึกผลที่ได้

7. ถอดซีลชุดที่ 1 ของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ออกแล้วนำไปชั่งน้ำหนักหลังการทดลอง บันทึกค่าที่ได้



รูปที่ 4.14 แสดงชุดจับยึดหัวอ่านที่ประกอบเสร็จพร้อมทำการทดลอง

8. ทำการเปลี่ยนซีลของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ออกทุกชุดและประกอบตัวใหม่ทุกชุด แล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 1. ถึง ข้อ 7. โดยการเพิ่มจำนวนรอบขึ้นทีละ 2,000 รอบ จนถึง 10,000 รอบ และเพิ่มความดันขึ้นทีละ 0.5 บาร์ จนถึง 4.0 บาร์

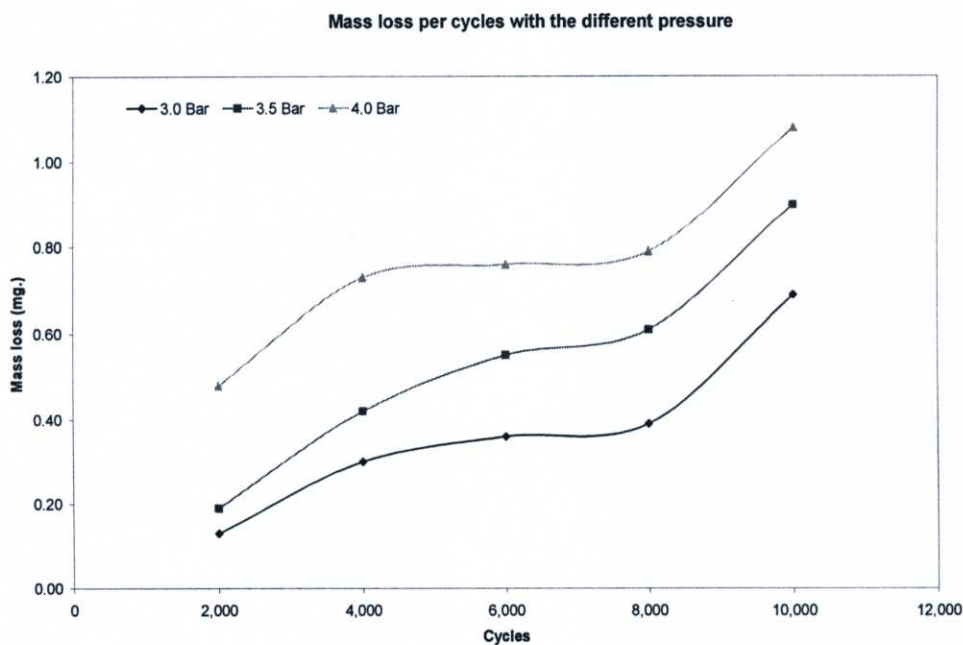
บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 บทนำ

จากการทดลองจะพบว่า ซีลที่เกิดการสึกหรอมากที่สุดจนทำให้ต้องหยุดระบบเพื่อเปลี่ยนซีลใหม่ทุกตำแหน่ง คือ ซีลตำแหน่งที่ 1 ซึ่งเป็นซีลที่มีขนาดเล็กที่สุด เหตุที่ต้องทำการเปลี่ยนซีลใหม่ทุกตำแหน่ง เพราะ เมื่อถอดชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสค์ออกจากกระบอกสูบแล้ว ซีลทุกตำแหน่งจะมีสภาพที่ไม่พร้อมในการใช้งานต่อไปได้ เพราะ จะเกิดการสึกหรอกับซีลทุกตำแหน่ง แต่ตำแหน่งอื่น ๆ จะมีสภาพการสึกหรอที่น้อยกว่าซีลตำแหน่งที่ 1 เพื่อเป็นการนับอายุการใช้งานของซีลแต่ละตำแหน่งได้เท่าเทียมกันหลังจากประกอบซีลตัวใหม่แล้ว การทดลองนี้จึงได้พิจารณาการสึกหรอของซีลตำแหน่งที่ 1 เพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น

5.2 ผลการทดลองของซีลขนาดเก่า

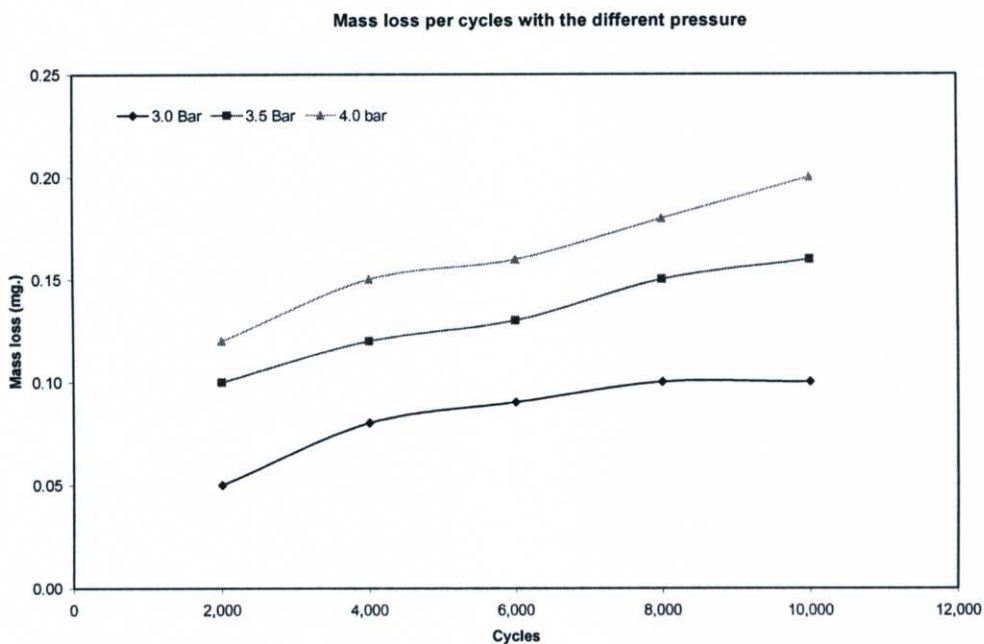


รูปที่ 5.1 แสดงมวลที่สูญเสียไปต่อจำนวนรอบที่ความดันที่แตกต่างกันของซีลขนาดเก่า

จากรูปที่ 5.1 จะพบว่า ที่ความดันเดียวกัน จำนวนรอบใช้งานระหว่าง 2,000 - 4,000 รอบ มวลมีการสูญเสียในอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้น ความร้อนจึงไปทำลาย

เมื่อวัสดุให้มีการฉีกขาดได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้สภาพการสึกหรอมีการเสียรูปไปมาก สำหรับในช่วงระหว่าง 4,000 – 8,000 รอบ มวลมีการสูญเสียไปในอัตราที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากนัก จึงทำให้สภาพการสึกหรอไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อช่วงใช้งานมากกว่า 8,000 รอบ มวลจะมีการสูญเสียไปในอัตราที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมาก จึงส่งผลให้เมื่อวัสดุถูกฉีกขาดได้ง่ายและหลอมละลายออกไปอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ช่วงใช้งานนี้ความดันจะเริ่มร่วงไหลออกไปเมื่อวัดด้วยเกจวัดความดัน จากการทดลองจะพบว่า ที่ความดันใช้งานเท่ากับ 3.0 บาร์ จะมีมวลที่สูญเสียไปในน้อยที่สุดในทุกๆจำนวนรอบการใช้งาน แสดงว่า ที่ความดันนี้ซิลเกิดการสึกหรอน้อยที่สุด จึงเป็นความดันที่ดีที่สุดในช่วงการใช้งาน

5.3 ผลการทดลองของซิลขนาดใหม่



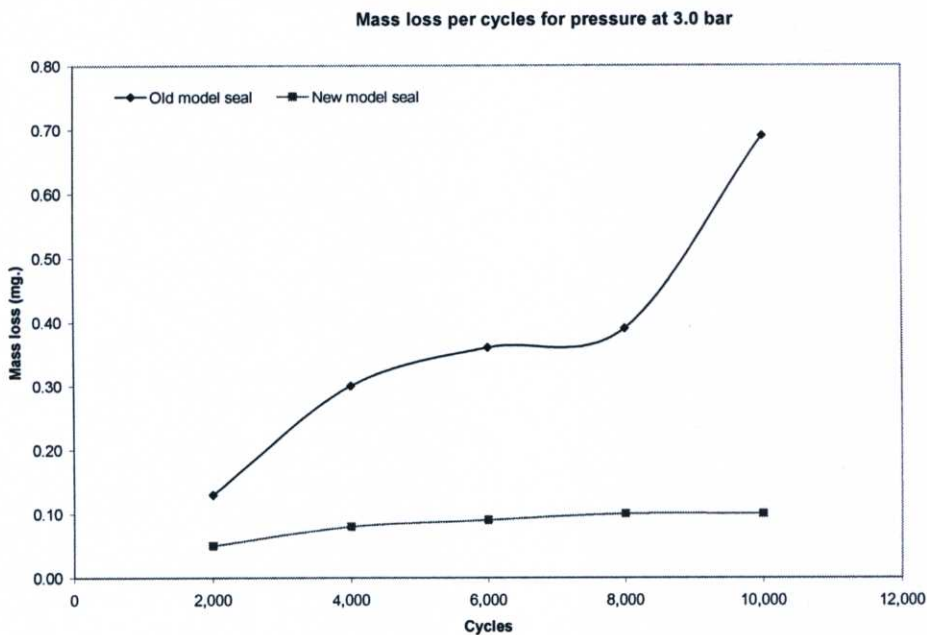
รูปที่ 5.2 แสดงมวลที่สูญเสียไปต่อจำนวนรอบที่ความดันที่แตกต่างกันของซิลขนาดใหม่

จากรูปที่ 5.2 จะพบว่า ที่ความดันเดียวกัน ในช่วงใช้งานระหว่าง 2,000 – 4,000 รอบ มวลจะมีการสูญเสียไปในอัตราที่เพิ่มขึ้นไม่มากนัก เนื่องจากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นน้อย ส่งผลให้สภาพการสึกหรอของซิลเสียรูปไปน้อย สำหรับช่วงใช้งานระหว่าง 4,000 – 8,000 รอบ มวลจะมีการสูญเสียไปในอัตราที่มากกว่าในช่วงแรก แต่ก็ยังเพิ่มในอัตราที่ไม่มากนัก อุณหภูมิก็เพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันด้วย ส่งผลให้เมื่อวัสดุของซิลถูกหลอมละลายด้วยความร้อนและเมื่อวัสดุหลุดออกไปไม่มากนัก เมื่อช่วงใช้งานมากกว่า 8,000 รอบ มวลก็ยังมีการสูญเสียไปในอัตราที่เพิ่มขึ้นไม่มาก อุณหภูมิก็เพิ่มขึ้น

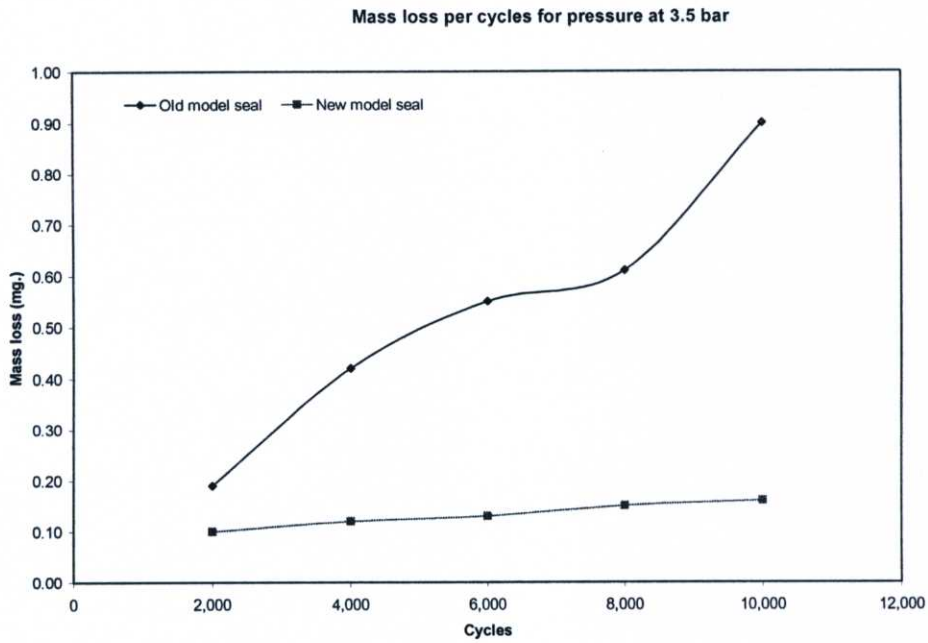
ไม่มากเช่นกัน ส่งผลให้สภาพการสึกหรอของซีลมีการเสียบรูปไปไม่มากเพราะเนื้อวัสดุถูกหลอมละลายได้น้อย ที่ช่วงใช้งานนี้ไม่มีการรั่วไหลของลมเมื่อวัดด้วยเกจวัดความดัน จากการทดลองจะพบว่า ที่ความดันใช้งานเท่ากับ 3.0 บาร์ จะมีมวลที่สูญเสียไปน้อยที่สุดในทุกๆจำนวนรอบการใช้งาน แสดงว่า ที่ความดันนี้ซีลเกิดการสึกหรอน้อยที่สุด จึงเป็นความดันที่ดีที่สุดในช่วงการใช้งาน

5.4 เปรียบเทียบผลการทดลองของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่

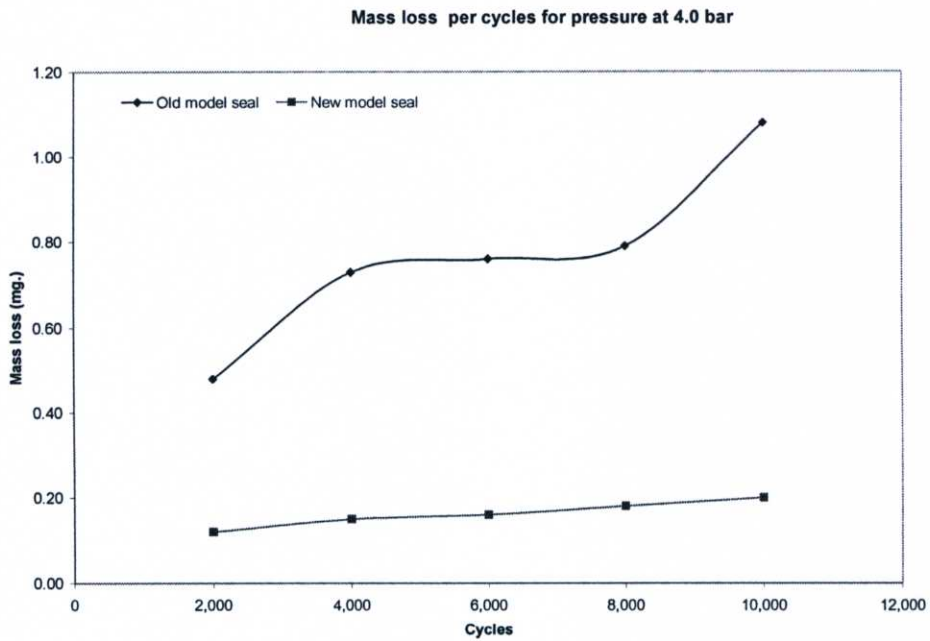
เมื่อนำผลการทดลองของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่มาทำการเปรียบเทียบการสึกหรอที่ความดันเดียวกัน ดังรูปที่ 5.3 – 5.5 จะพบว่า ซีลขนาดเก่ามีอัตราการสึกหรอมากกว่าซีลขนาดใหม่ในทุกๆจำนวนรอบการใช้งาน อุณหภูมิของซีลขนาดเก่าก็สูงกว่าซีลขนาดใหม่ในทุกๆจำนวนรอบการใช้งาน จึงทำให้ซีลขนาดใหม่ถูกหลอมละลายได้น้อยกว่า ส่งผลให้มีสภาพการสึกหรอน้อยกว่าซีลขนาดเก่ามาก โดยที่ซีลขนาดใหม่จะมีอัตราการสึกหรอน้อยมาก และ การสึกหรอลดลงถึง 85.51% ที่ความดัน 3.0 บาร์ และ จำนวนรอบเท่ากับ 10,000 รอบ ซึ่งเป็นความดันที่ดีที่สุดในช่วงการใช้งาน



รูปที่ 5.3 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่ที่ความดันใช้งานเท่ากับ 3.0 บาร์



รูปที่ 5.4 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่ที่ความดันใช้งานเท่ากับ 3.5 บาร์



รูปที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่ที่ความดันใช้งานเท่ากับ 4.0 บาร์

5.5 รูปแสดงผลการทดลองของซิลขนาดเก่า

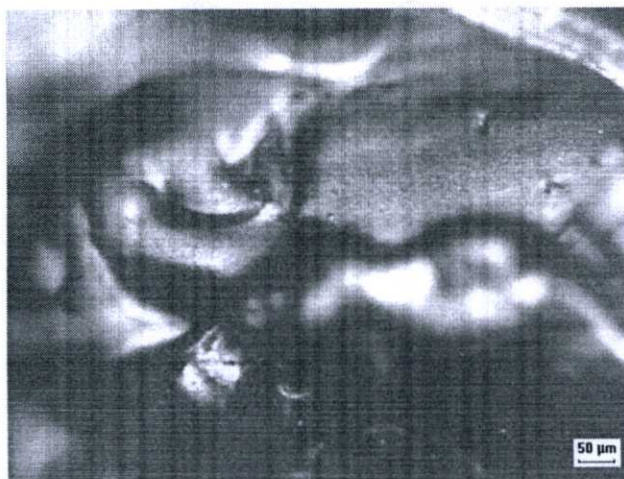
รูปที่แสดงในหัวข้อนี้ เป็นรูปของสภาพการสึกหรอของซิลที่ได้จากการดูที่ตำแหน่งที่ 1 ในเงื่อนไขการทำงานเดียวกัน ส่วนตำแหน่งที่ 2 และ 3 สามารถดูได้จาก ภาคผนวก ง

5.5.1 รูปแสดงผลการทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.0 บาร์

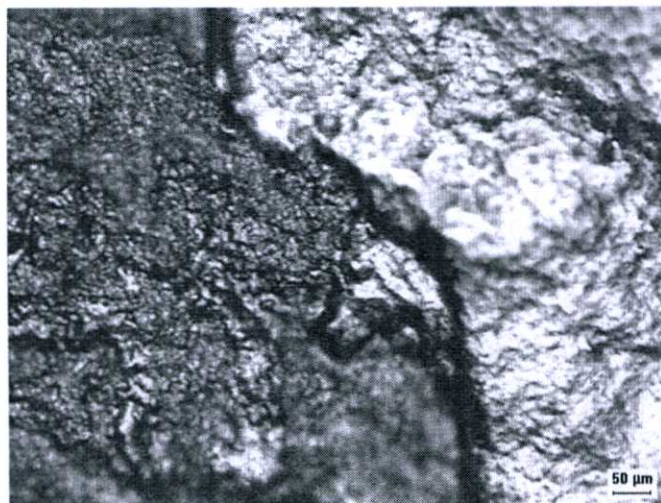
จากเงื่อนไขการทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.0 บาร์ และจำนวนรอบการใช้งานที่แตกต่างกัน จะได้สภาพการสึกหรอของซิลแสดงดังรูปที่ 5.6 – 5.9 พบว่าซิลจะถูกฉีกขาดออกเนื่องจากการถูกขัดถูด้วยแรงเฉือนขณะมีการเคลื่อนที่ เนื่องจากซิลมีความแข็งน้อยกว่าพื้นผิวคู่สัมผัสมาก เมื่อจำนวนรอบการใช้งานเพิ่มขึ้น จะมีการสะสมของพลังงานความร้อนจนไปทำลายพื้นผิวให้มีการเสียรูปไปจากสภาพเดิม จึงทำให้พื้นผิวหลุดออกไปจากเนื้อวัสดุหลัก และเมื่อจำนวนรอบในการใช้งานยิ่งเพิ่มมากขึ้นเท่าใด สภาพพื้นผิวก็จะมีหลุดออกไปมากขึ้นตามไปด้วย เพราะมีการสะสมของพลังงานความร้อนเพิ่มมากขึ้น จะพบว่า การสึกหรอของพื้นผิวที่ตำแหน่งที่แตกต่างกันของการทำงานที่ความดันเท่ากับ 3.0 บาร์ จะมีสภาพการสึกหรอที่แตกต่างกัน ถึงแม้จะมีจำนวนรอบการใช้งานที่เท่ากันก็ตาม แต่โดยภาพรวมแล้ว สามารถสรุปได้ว่า การสึกหรอจะเกิดจากการถูกขัดถูจากแรงเฉือนขณะเคลื่อนที่, การสะสมของพลังงานความร้อนที่ไปทำลายสภาพพื้นผิว



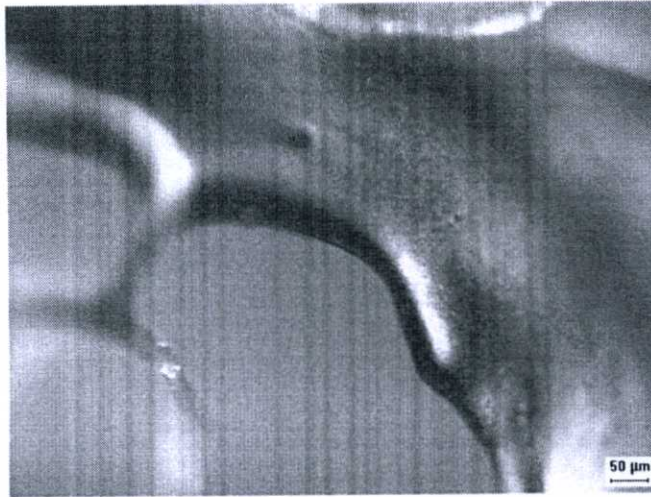
รูปที่ 5.6 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ



รูปที่ 5.7 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ



รูปที่ 5.8 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ



รูปที่ 5.9 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ

5.5.2 รูปแสดงผลการทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.5 บาร์

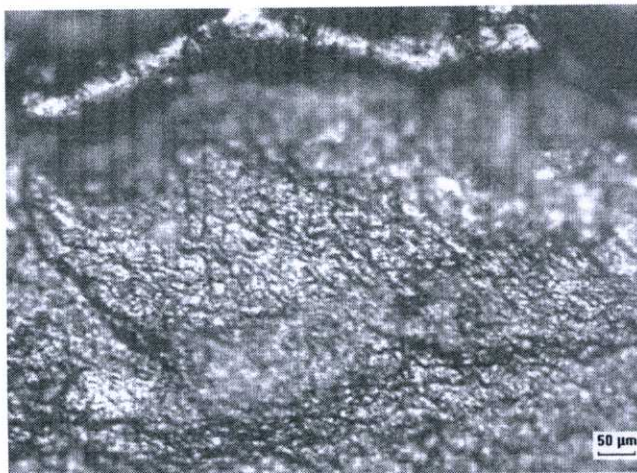
จากเงื่อนไขการทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.5 บาร์ และจำนวนรอบการใช้งานที่แตกต่างกัน จะได้สภาพการสึกหรอของซีลแสดงดังรูปที่ 5.10 – 5.12 พบว่าซีลจะถูกฉีกขาดออกเนื่องจากการขัดถูด้วยแรงเฉือนขณะเคลื่อนที่กลับไปกลับมา เนื่องจากซีลมีความแข็งน้อยกว่าพื้นผิวคู่สัมผัส เมื่อจำนวนรอบการใช้งานเพิ่มขึ้น จะมีการสะสมของพลังงานความร้อนจนไปทำลายพื้นผิวให้มีการเสียบรูปไปจากสภาพเดิม จึงทำให้พื้นผิวหลุดออกไปจากเนื้อวัสดุหลัก และเมื่อจำนวนรอบในการใช้งานยิ่งเพิ่มมากขึ้นเท่าใด สภาพพื้นผิวก็จะมีหลุดออกไปมากขึ้นตามไปด้วย เพราะมีการสะสมของพลังงานความร้อนเพิ่มมากขึ้น จะพบว่า การสึกหรอของพื้นผิวที่ตำแหน่งที่แตกต่างกันของการทำงานที่ความดันเท่ากับ 3.5 บาร์ จะมีสภาพการสึกหรอที่แตกต่างกัน แม้จะมีจำนวนรอบการใช้งานเท่ากัน แต่โดยภาพรวมแล้ว สามารถสรุปได้ว่า การสึกหรอจะเกิดจากการถูกขัดถูจากแรงเฉือนขณะเคลื่อนที่, การสะสมของพลังงานความร้อน



รูปที่ 5.10 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ



รูปที่ 5.11 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ



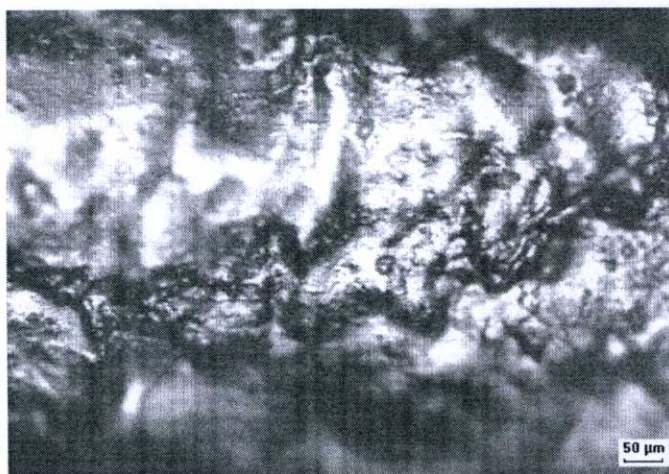
รูปที่ 5.12 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ

5.5.3 รูปแสดงผลการทดลองที่ความดันเท่ากับ 4.0 บาร์

ที่เงื่อนไขการทดลองที่ความดันเท่ากับ 4.0 บาร์ และจำนวนรอบการใช้งานที่แตกต่างกัน จะได้ผลการสึกหรอของซีลแสดงดังรูปที่ 5.13 – 5.15 พบว่าซีลจะถูกฉีกขาดออกเนื่องจากการขัดถูด้วยแรงเฉือนขณะมีการเคลื่อนที่ เนื่องจากซีลมีความแข็งน้อยกว่าพื้นผิวคู่สัมผัส เมื่อจำนวนรอบการใช้งานเพิ่มขึ้น จะมีการสะสมของพลังงานความร้อนจนไปทำลายพื้นผิวให้มีการเสียรูปไปจากสภาพเดิม จึงทำให้พื้นผิวหลุดออกไปจากเนื้อวัสดุหลัก และเมื่อจำนวนรอบในการใช้งานยังเพิ่มมากขึ้นเท่าใด สภาพพื้นผิวก็จะมีการหลุดออกไปมากขึ้นตามไปด้วย เพราะมีการสะสมของพลังงานความร้อนเพิ่มมากขึ้น จะพบว่า การสึกหรอของพื้นผิวที่ตำแหน่งที่แตกต่างกันของการทำงานที่ความดันเท่ากับ 4.0 บาร์ จะมีผลการสึกหรอที่แตกต่างกัน แม้ว่าจำนวนรอบการใช้งานจะเท่ากันก็ตาม แต่โดยภาพรวมแล้ว สามารถสรุปได้ว่า การสึกหรอจะเกิดจากการถูกขัดถูจากแรงเฉือนขณะเคลื่อนที่, การสะสมของพลังงานความร้อน



รูปที่ 5.13 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ



รูปที่ 5.14 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ



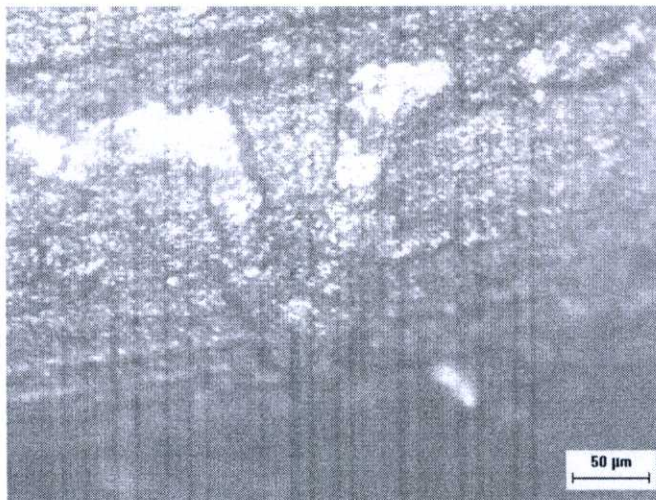
รูปที่ 5.15 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ

5.6 รูปแสดงผลการทดลองของซิลขนาดใหม่

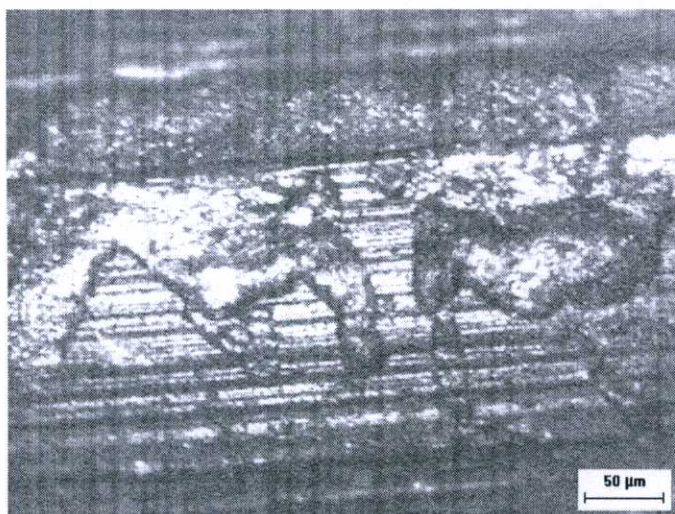
รูปที่แสดงในหัวข้อนี้ เป็นรูปของสภาพการสึกหรอของซิลที่ได้จากการดูที่ตำแหน่งที่ 1 ในเงื่อนไขการทำงานเดียวกัน ส่วนตำแหน่งที่ 2 และ 3 สามารถดูได้จาก ภาพผนวก ง

5.6.1 รูปแสดงผลการทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.0 บาร์

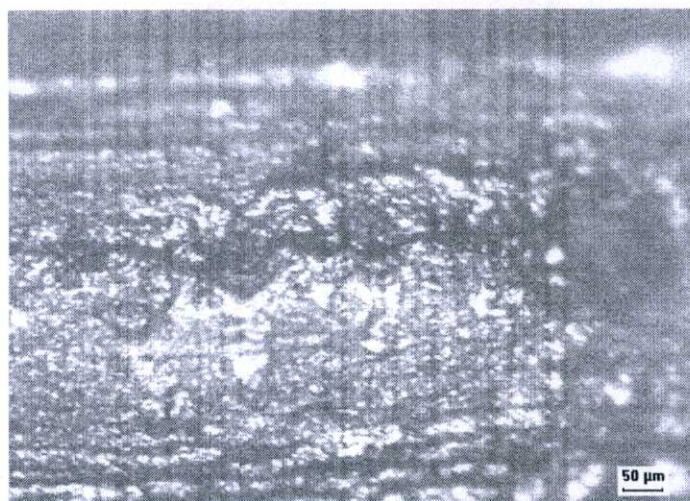
ที่เงื่อนไขการทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.0 บาร์ และจำนวนรอบการใช้งานที่แตกต่างกัน จะได้สภาพการสึกหรอของซิลแสดงดังรูปที่ 5.16 – 5.20 พบว่าซิลจะถูกฉีกขาดออกเนื่องจากการขัดถูด้วยแรงเฉือนขณะมีการเคลื่อนที่ เนื่องจากซิลมีความแข็งน้อยกว่าพื้นผิวคู่สัมผัส เมื่อจำนวนรอบการใช้งานเพิ่มขึ้น จะมีการสะสมของพลังงานความร้อนจนไปทำลายพื้นผิวให้มีการเสียดรูปไปจากสภาพเดิม จึงทำให้พื้นผิวหลุดออกไปจากเนื้อวัสดุหลัก เมื่อมีการใช้งานเพิ่มมากขึ้นไปอีก แต่ซิลขนาดใหม่ก็มีสภาพการสึกหรอที่ไม่มากนัก เนื่องจากมีพื้นที่ในการรับแรงมากกว่าและเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง ด้วยเหตุที่มีพื้นที่ในการรับแรงมากกว่านี้เองจึงทำให้มีความทนทานต่อพลังงานความร้อนมากขึ้น จึงทำให้การสึกหรอลดลงไปเมื่อเทียบกับเงื่อนไขการทดลองเดียวกันของซิลขนาดเก่า จะพบว่า การสึกหรอของพื้นผิวที่ตำแหน่งที่แตกต่างกันของการทำงานที่ความดันเท่ากับ 3.0 บาร์ จะมีสภาพการสึกหรอที่แตกต่างกัน แม้ว่าจำนวนรอบการใช้งานจะเท่ากันก็ตาม แต่โดยภาพรวมแล้ว สามารถสรุปได้ว่า การสึกหรอจะเกิดจากการถูกขัดถูจากแรงเฉือนขณะเคลื่อนที่, การสะสมของพลังงานความร้อน



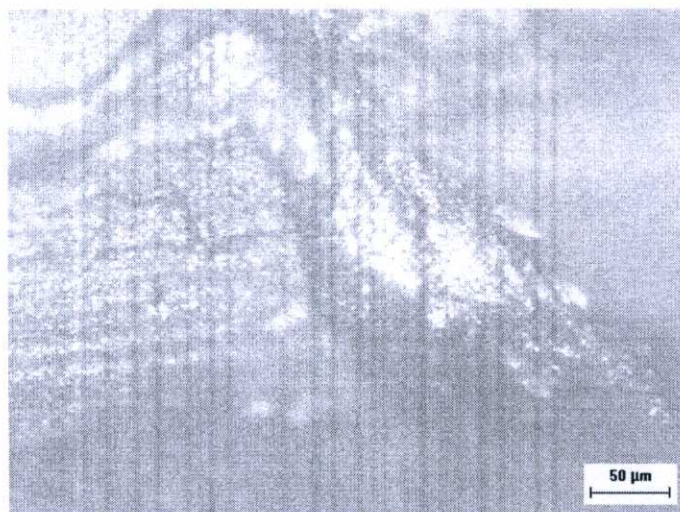
รูปที่ 5.16 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ



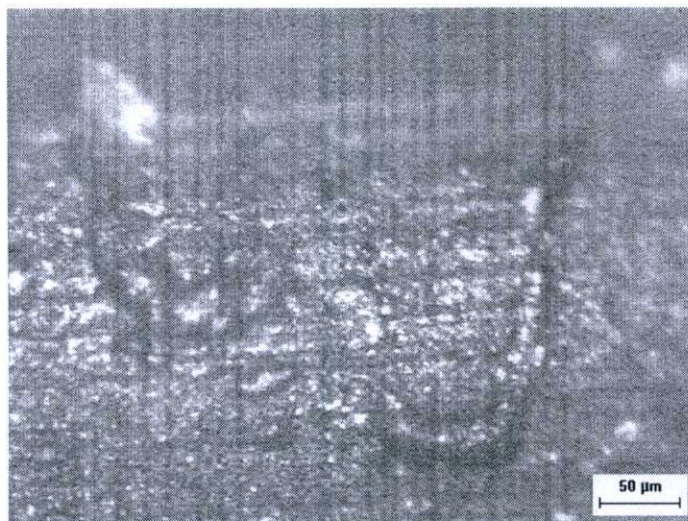
รูปที่ 5.17 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ



รูปที่ 5.18 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ



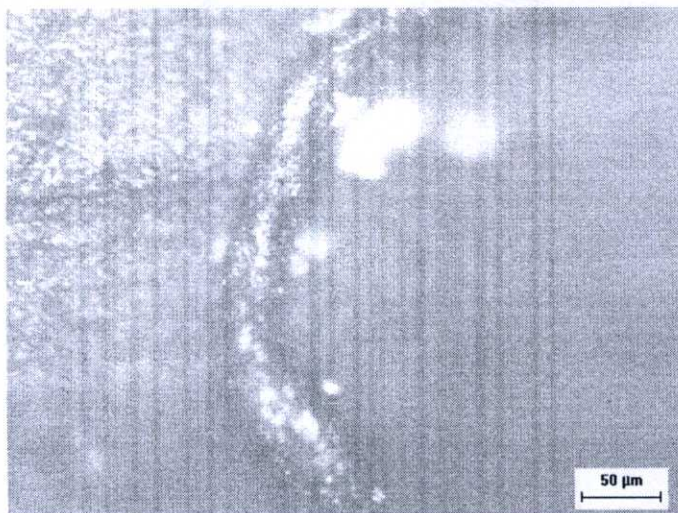
รูปที่ 5.19 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ



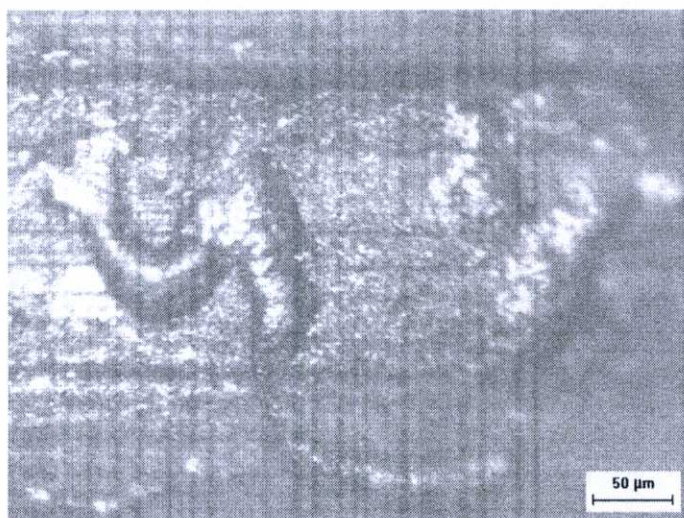
รูปที่ 5.20 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ

5.6.2 รูปแสดงผลการทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.5 บาร์

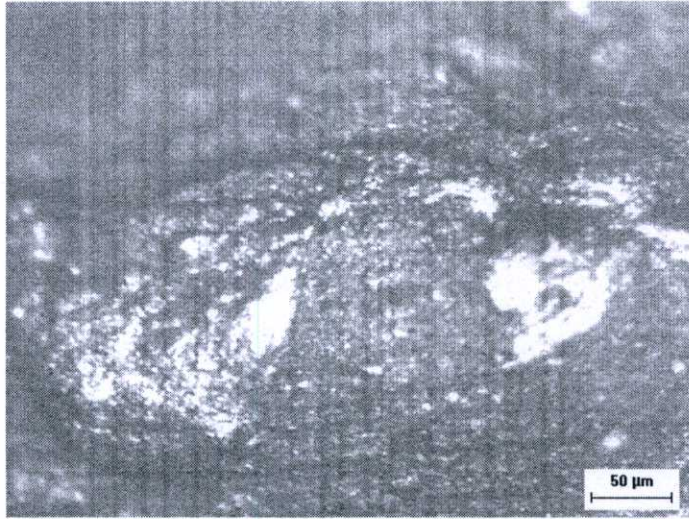
ที่เงื่อนไขการทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.5 บาร์ และจำนวนรอบการใช้งานที่แตกต่างกัน จะได้สภาพการสึกหรอของซีลแสดงดังรูปที่ 5.21 – 5.25 พบว่าซีลจะถูกฉีกขาดออกเนื่องจากการขัดถูด้วยแรงเฉือนขณะมีการเคลื่อนที่ เนื่องจากซีลมีความแข็งน้อยกว่าพื้นผิวคู่สัมผัส เมื่อจำนวนรอบการใช้งานเพิ่มขึ้น จะมีการสะสมของพลังงานความร้อนจนไปทำลายพื้นผิวให้มีการเสียรูปไปจากสภาพเดิม จึงทำให้พื้นผิวหลุดออกไปจากเนื้อวัสดุหลัก เมื่อมีการใช้งานเพิ่มมากขึ้นไปอีก แต่ซีลขนาดใหม่ก็มีสภาพการสึกหรอที่ไม่มากนัก เนื่องจากมีพื้นที่ในการรับแรงมากกว่าและเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง ด้วยเหตุที่มีพื้นที่ในการรับแรงมากกว่านี้เองจึงทำให้มีความทนทานต่อพลังงานความร้อนมากขึ้น จึงทำให้การสึกหรอลดลงไปเมื่อเทียบกับเงื่อนไขการทดลองเดียวกันของซีลขนาดเก่า จะพบว่า การสึกหรอของพื้นผิวที่ตำแหน่งที่แตกต่างกันของการทำงานที่ความดันเท่ากับ 3.5 บาร์ จะมีสภาพที่แตกต่างกัน แม้ว่าจำนวนรอบการใช้งานจะเท่ากันก็ตาม แต่โดยภาพรวมแล้วสามารถสรุปได้ว่า การสึกหรอจะเกิดจากการถูกขัดถูจากแรงเฉือนขณะเคลื่อนที่, การสะสมของพลังงานความร้อน



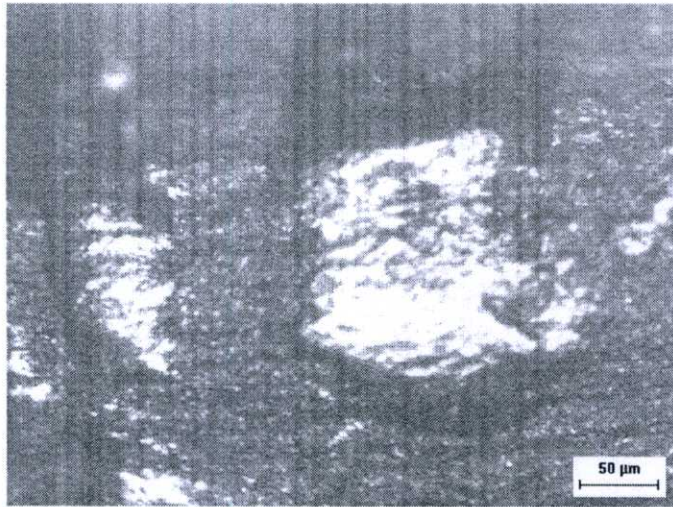
รูปที่ 5.21 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ



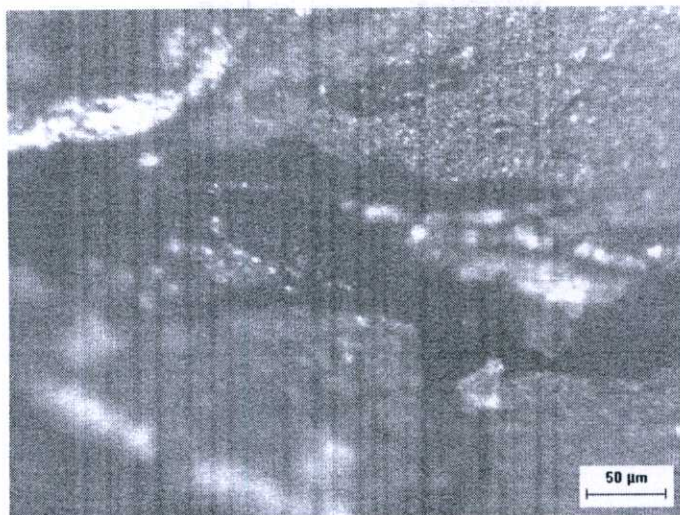
รูปที่ 5.22 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ



รูปที่ 5.23 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ



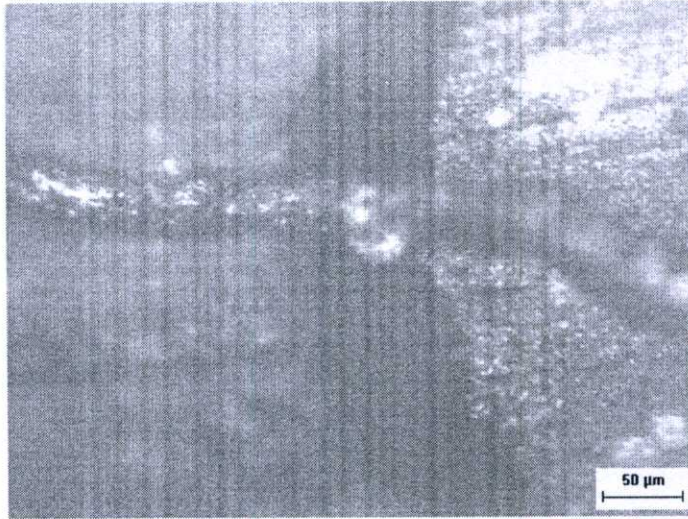
รูปที่ 5.24 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ



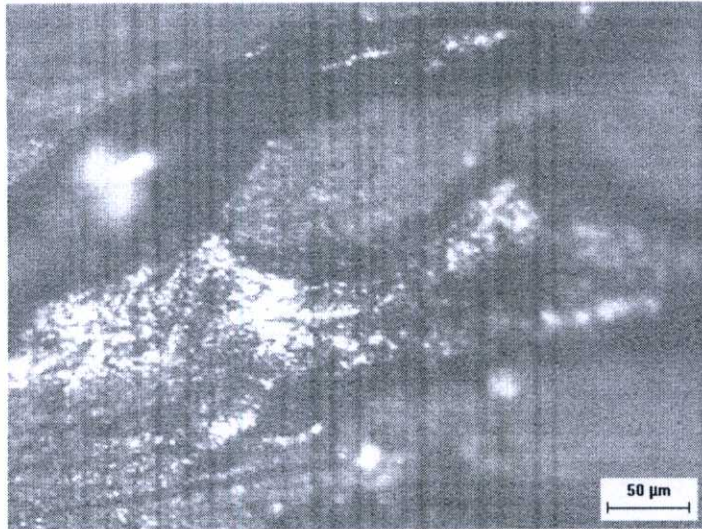
รูปที่ 5.25 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ

5.6.3 รูปแสดงผลการทดลองที่ความดันเท่ากับ 4.0 บาร์

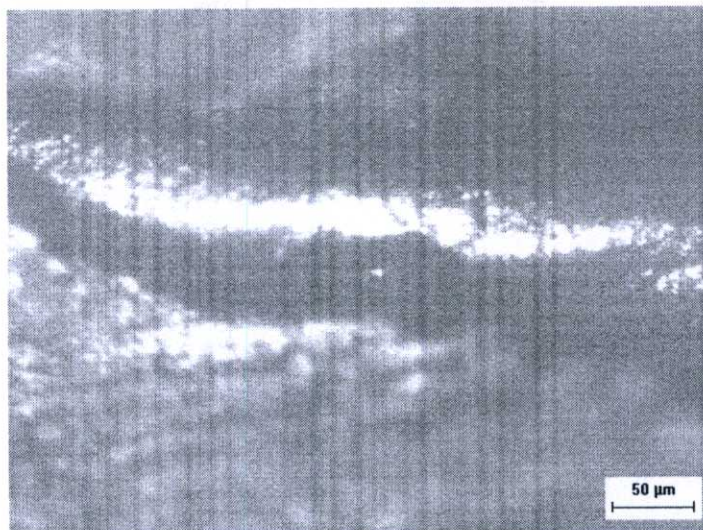
ที่เงื่อนไขการทดลองที่ความดันเท่ากับ 4.0 บาร์ และจำนวนรอบการใช้งานที่แตกต่างกัน จะได้สภาพการสึกหรอของซีลแสดงดังรูปที่ 5.26 – 5.30 พบว่าซีลจะถูกฉีกขาดออกเนื่องจากการขัดถูด้วยแรงเฉือนขณะมีการเคลื่อนที่ เนื่องจากซีลมีความแข็งน้อยกว่าพื้นผิวคู่สัมผัส เมื่อจำนวนรอบการใช้งานเพิ่มขึ้น จะมีการสะสมของพลังงานความร้อนจนไปทำลายพื้นผิวให้มีการเสียรูปไปจากสภาพเดิม จึงทำให้พื้นผิวหลุดออกไปจากเนื้อวัสดุหลัก เมื่อมีการใช้งานเพิ่มมากขึ้นไปอีก แต่ซีลขนาดใหม่ก็มีสภาพการสึกหรอที่ไม่มากนัก เนื่องจากมีพื้นที่ในการรับแรงมากกว่าและเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง ด้วยเหตุที่มีพื้นที่ในการรับแรงมากกว่านี้เองจึงทำให้มีความทนทานต่อพลังงานความร้อนมากขึ้น จึงทำให้การสึกหรอลดลงไปเมื่อเทียบกับเงื่อนไขการทดลองเดียวกันของซีลขนาดเก่า จะพบว่า การสึกหรอของพื้นผิวที่ตำแหน่งที่แตกต่างกันของการทำงานที่ความดันเท่ากับ 4.0 บาร์ จะมีสภาพที่แตกต่างกัน แม้ว่าจำนวนรอบการใช้งานจะเท่ากันก็ตาม แต่โดยภาพรวมแล้วสามารถสรุปได้ว่า การสึกหรอจะเกิดจากการถูกขัดถูจากแรงเฉือนขณะเคลื่อนที่, การสะสมของพลังงานความร้อน



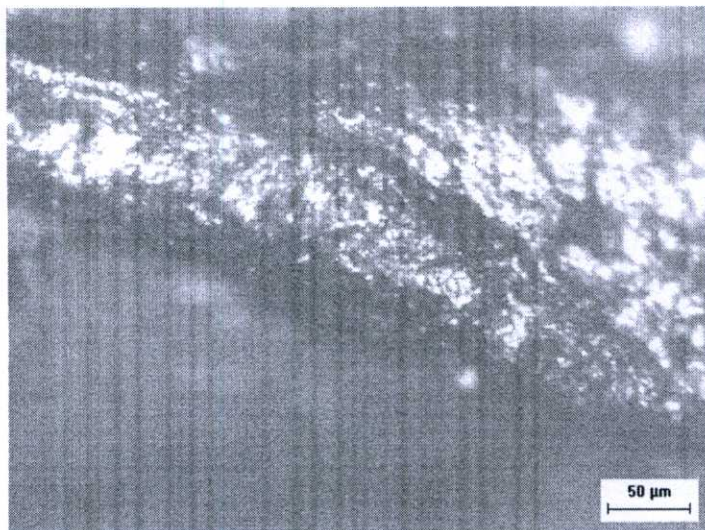
รูปที่ 5.26 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ



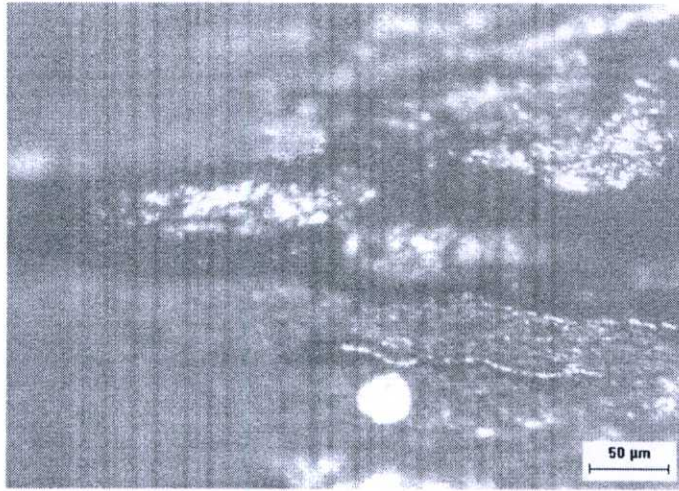
รูปที่ 5.27 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ



รูปที่ 5.28 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ



รูปที่ 5.29 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ



รูปที่ 5.30 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะการสึกหรอของซีลสำหรับชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ทำจากวัสดุอีลาสโตเมอร์พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์หาค่าสาเหตุของการสึกหรอที่เกิดขึ้น จนนำไปสู่การหาวิธีในการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลให้ยาวนานขึ้น จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ในการทดลองนี้ใช้หลักการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลด้วยวิธีการลดความเค้นเฉือน โดยการเพิ่มขนาดของซีลขึ้นไปอีก 25 % จากขนาดเก่า
2. ทั้งซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่จะมีสภาพการสึกหรอจากการถูกขัดถูจากแรงเฉือนขณะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาจนทำให้เนื้อวัสดุหลุดออกไป, เกิดการสึกหรอจากการสะสมของความร้อนที่เนื้อวัสดุ เมื่อมีการใช้งานเพิ่มมากขึ้นผิวด้านนอกของวัสดุในตำแหน่งที่มีการสะสมของความร้อนมากจะหลุดออกไปจากเนื้อวัสดุหลัก ที่เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน ซีลขนาดเก่าจะมีสภาพการสึกหรอมากกว่าซีลขนาดใหม่ แสดงว่าซีลขนาดใหม่สามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าซีลขนาดเก่า
3. ทั้งซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่จะมีการสึกหรอมากขึ้น เมื่อทั้งความดันและจำนวนรอบในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น และที่ความดันใช้งานเท่ากับ 3.0 บาร์ จะมีการสึกหรอน้อยที่สุด จึงเป็นความดันที่ดีที่สุดในช่วงการใช้งาน
4. ซีลขนาดเก่าจะมีอัตราการสึกหรอมากกว่าซีลขนาดใหม่ แสดงว่าซีลขนาดใหม่สามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าซีลขนาดเก่า
5. ซีลขนาดใหม่ช่วยทำให้การสึกหรอลดลงถึง 85.51 % ที่ความดัน 3.0 บาร์ และ จำนวนรอบเท่ากับ 10,000 รอบ

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลให้ยาวนานขึ้นกว่าเดิมนั้นควรมีการออกแบบขนาดของชุดจับยึดหัวอ่านให้มีขนาดที่มากกว่าขนาดที่ใช้งานอยู่เพื่อให้สามารถใช้ซีลในขนาดที่มากกว่าที่ใช้อยู่นี้ได้และให้ลองใช้วัสดุต่างชนิดกันเพื่อเปรียบเทียบผลการสึกหรอแล้วนำผลการทดลองที่ดีที่สุดมาใช้งานต่อไป พร้อมทั้งให้ทำการกัดร่องสวมซีลที่มีความลึก 0.016 นิ้ว แล้วนำมาใช้กับซีลขนาดใหม่เพื่อทดสอบว่าซีลสามารถเคลื่อนที่ได้หรือไม่ และ หากเคลื่อนที่ได้ก็ให้นำผลการทดลองที่ได้มาเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้

บรรณานุกรม

- [1] Ahmed Abouel-Kasem. 2006. "Lifetime estimation and design of elastomeric seals with reinforced metal end caps." **Sealing Technology**. 2006(3) : 5-9.
- [2] J.-M. Degrange, M. Thomine, Ph. Kapsa, J.M. Pelletier, L. Chazeau, G. Vigier, G. Dudragne, L. Guerbe. 2005. "Influence of viscoelasticity on the tribological behaviour of carbon black filled nitrile rubber (NBR) for lip seal application." **Wear**. 259 : 684-692.
- [3] T. Raparelli, A. Manuello, L. Mazza. 1997. "Experimental and numerical study of friction in an elastomeric seal for pneumatic cylinders." **Tribology International**. Vol. 30, No. 7 : 547-552.
- [4] Hai Sui, Heiko Pohl, Uwe Schomburg, Gerd Upper, Steffen Heine. 1999. "Wear and friction of PTFE seals." **Wear**. 224 : 175-182.
- [5] Xiaolei Wang, Koji Kato, Koshi Adachi, Kohj Aizawa. 2003. "Loads carrying capacity map for the surface texture design of SiC thrust bearing sliding in water." **Tribology International**. 36 : 189-197.
- [6] Marcelo Kawakame, Jose Divo Bressan. 2006. "Study of wear in self-lubricating composites for application in seals of electric motors." **Journal of Materials Processing Technology**. 179 : 74-80.
- [7] M. Thomine, J.-M. Degrange, G. Vigier, L. Chazeau, J.-M. Pelletier, P. Kapsa, L. Guerbe, G. Dudragne. 2007. "Study of relations between viscoelasticity and tribological behaviour of filled elastomer for lip seal application." **Tribology International**. 40 : 405-411.
- [8] G. A. Jones. 2004. "On the tribological behaviour of mechanical seal face materials in dry line contact." **Wear**. 256 : 415-432.
- [9] J. Heubrand, H. Wiess. 1995. "Dry rolling wear of different materials induced by a non-uniform hertzian pressure distribution." **Surface and Coating Technology**. 76-77 : 462-468.
- [10] J. Karger-Kocsis, A. Mousa, Z. Major, N. Bekesi. 2008. "Dry friction and sliding wear of EPDM rubbers against steel as a function of carbon black content." **Wear**. 264 : 359-367.

- [11] Bin-Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun Liu, Pei-Hong Cong. 2007. "Tribological behaviors of several polymer-polymer sliding combinations under dry friction and oil-lubricated condition." **Wear.** 262 : 1353-1359.
- [12] D. Felhos, J. Karger-Kocsis. 2008. "Tribological testing of peroxide-cured EPDM rubbers with different carbon black contents under dry sliding conditions against steel." **Tribology International.** 41 : 404-415.
- [13] Thomas Ø. Larsen, Tom L. Andersen, Bent Thorning, Andy Horsewell, Martin E. Vigild. 2008. "Changes in the tribological behavior of an epoxy resin by incorporating CuO nanoparticles and PTFE microparticles." **Wear.** 265 : 203-213.
- [14] Xintao Zhang, Gongxiong Liao, Qifeng Jin, Xuebin Feng, Xigao Jian. 2008. "On dry sliding friction and wear behavior of PPSK filled with PTFE and graphite." **Tribology International.** 41 : 195-201.
- [15] H. Unal, A. Mimaroglu, T. Arda. 2006. "Friction and wear performance of some thermoplastic polymers and polymer composites against unsaturated polyester." **Applied Surface Science.** 252 : 8139-8146.
- [16] Junhong Jia, Jianmin Chen, Huidi Zhou, Litian Hu, Lei Chen. 2005. "Comparative investigation on the wear and transfer behaviors of carbon fiber reinforced polymer composites under dry sliding and water lubrication." **Composites Science and Technology.** 65 : 1139-1147.
- [17] Yoshinori Takeichi, Agung Wibowo, Masahiro Kawamura, Masao Uemuraa. 2008. "Effect of morphology of carbon black fillers on the tribological properties of fibrillated PTFE." **Wear.** 264 : 308-315.
- [18] Pieter Samyn, Jan Quintelier, Wouter Ost, Patrick De Baets, Gustaaf Schoukens. 2005. "Sliding behaviour of pure polyester and polyester-PTFE filled bulk composites in overload conditions." **Polymer Testing.** 24 : 588-603.
- [19] Jung-Yeob Lee, Dae-Soon Lim. 2004. "Tribological behavior of PTFE film with nanodiamond." **Surface & Coatings Technology.** 188-189 : 534-538.
- [20] W. Gregory Sawyer, Kevin D. Freudenberg, Praveen Bhimaraj, Linda S. Schadler. 2003. "A study on the friction and wear behavior of PTFE filled with alumina nanoparticles." **Wear.** 254 : 573-580.

- [21] Shi-Quan Lai, Li Yueb, Tong-Sheng Li, Zhi-Meng Hua. 2006. "The friction and wear properties of polytetrafluoroethylene filled with ultrafine diamond." **Wear**. 260 : 462-468.
- [22] H. Unal, U. Sen, A. Mimaroglu. 2006. "An approach to friction and wear properties of polytetrafluoroethylene composite." **Materials and Design**. 27 : 694-699.
- [23] J. Vande Voort, S. Bahadur. 1995. "The growth and bonding of transfer film and the role of CuS and PTFE in the tribological behavior of PEEK." **Wear**. 181-183 : 212-221.
- [24] S. Bahadur, V.K. Polineni. 1996. "Tribological studies of glass fabric-reinforced polyamide composites filled with CuO and PTFE." **Wear**. 200 : 95-104.
- [25] Z.P. Lu, K. Friedrich. 1995. "On sliding friction and wear of PEEK and its composites." **Wear**. 181-183 : 624-631.
- [26] ปนัดดา นิรนาทล้ำพงศ์, John T.H. Pearce, ผกามาศ แซ่หว่าง, วารุณี เปรมานนท์, ชาวสวน กาญจโนมัย, Graeme J. Sheppard, ดวงดาว อางองค์, สุรพล ราชภูร์นุ้ย และ สิทธิชัย วิโรจนุปลัดมภ์. 2547. การสึกหรอในงานอุตสาหกรรม : ความรู้เบื้องต้นและการป้องกัน. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [27] J. Halling. **Introduction to Tribology**. The Wykeham Engineering and Technology Series. 1976.

ภาคผนวก ก
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์



วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200
โทร.(053)944176-7 โทรสาร (053)217287

Engineering Journal Chiang Mai University, Thailand.
Tel.+66(53)944176-7 Fax.+66(53)217287

ที่ ศธ 6393(14).1(5)/๐๑3

19 มกราคม 2552


เรื่อง ตอบรับบทความทางวิชาการ
เรียน คุณสุทิน พลบูรณ์

ตามที่ ท่านได้ส่งบทความทางวิชาการ เรื่อง “การปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลสำหรับชุดจับยึดหัวอ่าน” เพื่อนำพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ นั้น

ทางบรรณาธิการ ได้พิจารณา และมีความเห็นว่าบทความของท่านมีความเหมาะสมที่จะลงพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีที่ 16 เล่มที่ 1 มกราคม – เมษายน 2552 ทั้งนี้หากการพิมพ์วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่เป็นที่เรียบร้อย จะได้นำส่งวารสารดังกล่าวให้ท่านต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ


(ศาสตราจารย์ ดร.ทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์)
บรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลสำหรับชุดจับยึดหัวอ่าน

Improvement of the Usable Life of HGA Clamp Seal

สุทิน พลบูรณ์ และ มงคล มงคลวงศ์โรจน์

Suthin Pholboorn and Mongkol Mongkolwongroj

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
กรุงเทพฯ

โทร. 084-9038993, E-mail : suthin_27@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาคูณลักษณะการสึกหรอของซีลสำหรับชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ และทำการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลให้ยาวนานขึ้น ปริมาณการสึกหรอวัดด้วยเครื่องชั่งละเอียด เนื่องจากการสึกหรอของซีลส่วนใหญ่เกิดจากการถูกขัดถูจากความเค้นเฉือนเมื่อมีการเคลื่อนที่ ในการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลจึงต้องทำการลดการสึกหรอด้วยการลดความเค้นเฉือนโดยการเพิ่มพื้นที่ในการรับแรงเฉือน ในการทดลองนี้จึงได้ทำการเพิ่มขนาดของซีลขึ้นไปอีก 25% ซึ่งเป็นขนาดที่มีการใช้งานในตำแหน่งอื่นอยู่แล้ว จากการทดลองจะพบว่าทั้งซีลขนาดใหม่และขนาดเก่าจะมีการสึกหรอเพิ่มขึ้น เมื่อทั้งความดันและจำนวนรอบการใช้งานเพิ่มมากขึ้น แต่ซีลขนาดใหม่จะมีการสึกหรอน้อยกว่าซีลขนาดเก่ามากและยังมีอัตราการสึกหรอที่น้อยกว่าด้วย ซีลขนาดใหม่ช่วยทำให้การสึกหรอลดลงถึง 85.51% ที่ความดัน 3.0 บาร์ และ จำนวนรอบการใช้งานเท่ากับ 10,000 รอบ ซึ่งเป็นความดันที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน

ABSTRACT

This paper presents the study of the wearing characteristics for HGA clamp seal and includes the improvement of the usable life of seal. The wear rate can be measured by using the precise weighting machine. The most wear occurs from the abrasion of shear stress while in motion. The improvement of the usable life of seal is done by reduce wear from shear stress by increasing the area to support shear force. This experiment increases the size of seal about 25% from the old size. The new size of seal is the same size which uses in the other positions. The result of the experiment can show that both of the new size and the old size increase wear when increase both of operated pressure and cycles of the motion. The new size can get wear and wear rate lower than the old size. The new size can reduce wear about 85.51% at the operated pressure at 3.0 bar and the cycle of motion at 10,000 cycles. This operated pressure is the optimum pressure to use in this system.

1. บทนำ

วัสดุอีลาสโตเมอร์เป็นวัสดุที่มีการนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง

เพราะ วัสดุประเภทนี้มีคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางโครโมโลยีที่มีความเหมาะสมในการ

ใช้งาน ด้วยเหตุที่ว่าเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นได้ดี จึงนิยมนำมาทำเป็นวัสดุชนิดป้องกันการรั่วไหลของไหลในระบบ ที่เรียกว่า ซีล (Seal) หรือ โอ-ริง (O-ring)

ได้มีการพยายามปรับปรุงสมรรถภาพของซีลให้มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น นั่นคือ มีการสึกหรอน้อยลง และการศึกษาคุณสมบัติทางกลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับซีลเพื่อดูตัวแปรต่างๆที่มีความเกี่ยวข้องต่อประสิทธิภาพในการทำงาน มีการทดลองและจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์กับ PTFE (Polytetrafluoroethylene) Seals ที่รับแรงในแนวรัศมีพบว่าที่ความเร็วรอบ 2,000-6,000 rpm ค่าของ Friction Coefficient μ จะลดลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบและแรงกระทำที่ผิวสัมผัส สำหรับการวัดการสึกหรอ (Wear) จะพบว่าที่ความเร็วรอบและความดันสูงๆจะเกิดการสึกหรอมาก แต่จะเกิดการสึกหรอน้อยที่ความดันน้อยกว่า 0.5 MPa และความเร็วรอบน้อยกว่า 3,000 rpm [4]

ได้มีการทดลองการเลื่อนไหลของกลุ่มสัมผัสระหว่าง PTFE-PTFE, PA66-PA66 (Polyamide 66) และ PPS-PPS (Polyphenylene Sulfide) ภายใต้เงื่อนไขการสัมผัสแบบแห้งและใช้สารหล่อลื่น พบว่า สารหล่อลื่นทำให้แรงเสียดทานลดลงได้ทุกกลุ่มสัมผัส สำหรับอัตราการสึกหรอจะช่วยลดลงได้เฉพาะคู่ของ PTFE-PTFE และ PPS-PPS แต่ คู่ของ PA66-PA66 สารหล่อลื่นไม่ช่วยให้การสึกหรอลดลงเลย [1]

สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ ได้ทำการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลที่ทำจาก NBR (Nitrile Butadiene Rubber) ที่ใช้งานในชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ โดยการเปลี่ยนแปลงสภาวะการรับโหลดและจำนวนรอบในการทำงาน พร้อมทั้งหาสภาวะการทำงานที่ทำให้เกิดการสึกหรอของซีลน้อยที่สุดเพื่อให้อายุการใช้งานที่ยาวนานที่สุด

2. การปรับปรุงอายุการใช้งานของซีล

2.1 หลักการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีล

สำหรับหลักการที่ใช้ในการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลให้นานขึ้นที่นำมาพิจารณาในการทดลองครั้งนี้ คือ

1. การใช้สารหล่อลื่น

การใช้สารหล่อลื่นเป็นการทำให้ซีลยืดอายุการใช้งานขึ้นได้ เพราะเป็นการลดแรงเสียดทานขณะมีการเคลื่อนที่ แต่เนื่องจากการใช้งานจริงไม่มีการใช้สารหล่อลื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้น การทดลองนี้จึงไม่มีการใช้สารหล่อลื่น

2. การเลือกใช้วัสดุต่างชนิดกัน

การเลือกใช้วัสดุหลายๆชนิดเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดจากวัสดุแต่ละชนิดที่แตกต่างกันว่าวัสดุชนิดใดให้อายุการใช้งานของซีลยาวนานที่สุด แต่ในการทำงานจริง มีขอบเขตจำกัด ไม่มีการใช้วัสดุชนิดอื่นๆ นอกจาก NBR ดังนั้น การทดลองนี้จึงไม่มีการเลือกใช้วัสดุชนิดอื่นด้วย

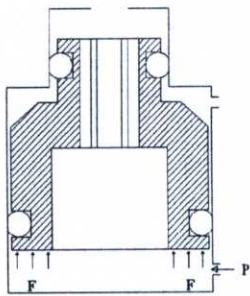
3. การเพิ่มขนาดของซีล

การเพิ่มขนาดของซีลให้มากขึ้นโดยใช้วัสดุชนิดเดิมเป็นอีกวิธีหนึ่งในการเพิ่มอายุการใช้งานของซีล เพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่ในการรับแรง ซึ่งจะส่งผลให้ความเค้นเฉือนมีขนาดลดลงเมื่อรับแรงขนาดที่เท่าๆกันกับซีลขนาดเดิม

โดยสรุป กระบวนการที่นำมาใช้ในการปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลในการทดลองนี้คือ การเพิ่มขนาดของ ซีลขึ้นไปอีก 25 % จากขนาดเดิม ซึ่งก็คือซีลขนาดเดียวกันกับที่ใช้งานในอีก 2 ตำแหน่งที่เหลือ

2.2 ความเค้นที่เกิดจากซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่

2.2.1 แรงที่กระทำกับชุดจับยึดหัวอ่าน



รูปที่ 1 แสดงแรงที่กระทำกับชุดจับยึดหัวอ่านขณะเคลื่อนที่ขึ้น

เมื่อป้อนแรงดัน (P) เข้าระบบ จะเกิด แรง (F) ที่ทำให้ระบบเกิดการเคลื่อนที่ขึ้น พิจารณาได้ดังสมการ

$$F = P * A \quad (3.1)$$

โดยที่

$$A = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2)$$

ดังนั้น

$$F = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) * P \quad (3.2)$$

P คือ ความดันใช้งาน (bar)

F คือ แรงที่เกิดจากความดัน (N)

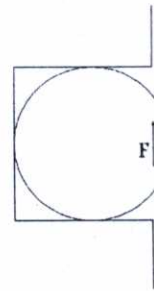
A คือ พื้นที่รับแรง (mm^2)

D_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (mm)

D_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก (mm)

จะพบว่า แรง (F) จะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่องสวมและความดัน (P) ใช้งาน

2.2.2 ความเค้นของซีลขนาดเก่า



รูปที่ 2 แสดงการรับความเค้นของซีลขนาดเก่า

เมื่อป้อนความดัน (P) เข้าไปในระบบ จะเกิดแรง (F) ซึ่งเป็นแรงที่ไปกระทำกับซีลให้เกิดการเคลื่อนที่เช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงเกิดความเค้นเฉือนขึ้นกับซีล ดังสมการ

$$\tau_o = \frac{F}{a_o} \quad (3.3)$$

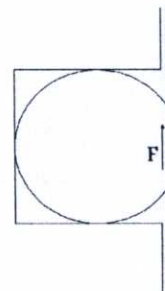
แทนค่า F จากสมการ (3.2) ลงในสมการ (3.3) จะได้

$$\tau_o = \frac{\pi (D_2^2 - D_1^2) * P}{4 * a_o} \quad (3.4)$$

τ_o คือ ความเค้นเฉือน (N/mm^2)

a_o คือ พื้นที่รับแรง (mm^2)

2.2.3 ความเค้นของซีลขนาดใหม่



รูปที่ 3 แสดงการรับความเค้นของซีลขนาดใหม่

เมื่อป้อนความดัน (P) เข้าไปในระบบ จะเกิดแรง (F) ซึ่งเป็นแรงที่ไปกระทำกับซีลให้เกิดการเคลื่อนที่เช่นเดียวกัน ดังนั้น จึงเกิดความเค้นเฉือนขึ้นกับซีล ดังสมการ

$$\tau_N = \frac{F}{a_N} \quad (3.5)$$

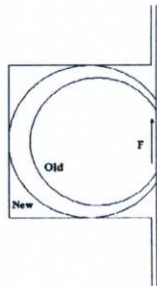
แทนค่า F จากสมการ (3.2) ลงในสมการ (3.5) จะได้

$$\tau_N = \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2) * P}{4 * a_N} \quad (3.6)$$

τ_N คือ ความเค้นเฉือน (N/mm^2)

a_N คือ พื้นที่รับแรง (mm^2)

2.2.4 การเปรียบเทียบพื้นที่รับแรงของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบพื้นที่การรับแรงของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่

ซีลแบบเก่ามีขนาดเท่ากับ 0.110*0.020 นิ้ว แต่ซีลแบบใหม่มีขนาดเท่ากับ 0.090*0.025 นิ้ว ซึ่งจะพบว่าซีลแบบใหม่มีความหนามากกว่าซีลแบบเก่าเท่ากับ 0.005 นิ้ว หรือ เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม 25% และในการก่อร่องสวมซีลแบบใหม่จึงต้องก่อร่องลงไปให้ลึกกว่าร่องสวมซีลแบบเก่าด้วย อย่างไรก็ตาม ซีลแบบใหม่ก็ยังมีส่วนที่ในการถูกบีบอัดมากกว่าซีลแบบเก่า โดยที่มีระยะ Clearance เท่ากับ 0.002087 นิ้ว หรือ 0.053 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4 เพื่อรักษาความเป็น

ซีล ในการป้องกันการรั่วไหลของของไหลที่ใช้งานในระบบ

เพราะฉะนั้น จะพบว่า

$$a_N > a_O \quad (3.7)$$

จะพบว่า ที่เงื่อนไขการทำงานความดัน (P) เดียวกัน จะได้ว่า

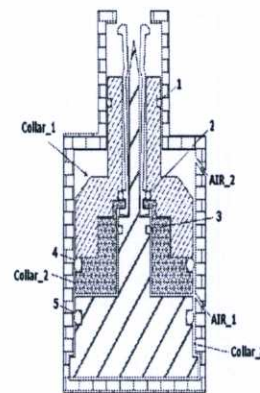
$$\tau_N < \tau_O \quad (3.8)$$

แสดงว่า การเพิ่มพื้นที่ของซีลทำให้ความเค้นเฉือนลดลง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสึกหรอลดลงตามไปด้วย

3. วิธีการทดลอง

3.1 ภาพแสดงชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสค์

ชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสค์ประกอบด้วย ส่วนประกอบหลักๆ คือ ชุด Collar 3 ชุด โดยชุดที่ 1 และชุดที่ 2 จะเคลื่อนที่ขึ้น-ลงไปด้วยกัน แต่ชุดที่ 3 จะไม่มีการเคลื่อนที่ โดยมี ซีล ทั้งหมด 5 ชุด ที่มีขนาดที่แตกต่างกันทำหน้าที่ป้องกันการรั่วไหลของไหล ในการเคลื่อนที่จะเป็นการเคลื่อนที่แบบกลับ ไปกลับมา โดยอาศัยแรงดันที่ทางเข้าที่ 1 และทางเข้าที่ 2 ดังรูปที่ 5



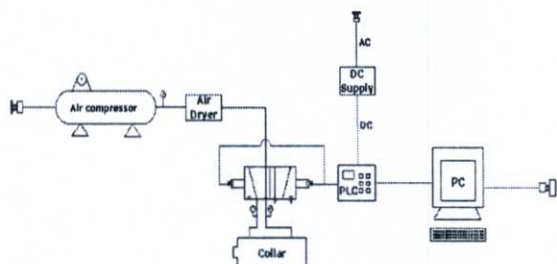
รูปที่ 5 แสดงส่วนประกอบของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสค์ (HGA Clamp)

3.2 หลักการทำงานของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสค์

เมื่อแรงดันเข้าที่ทางเข้าที่ 1 จะทำให้ Collar ชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 เคลื่อนที่ขึ้นไปพร้อมกันจนสุดระยะ

แล้วจะทำการค้างเอาไว้เป็นเวลา 6 วินาที เพื่อให้ก้านตรงปลายทำการจับยึดหัวอ่านเอาไว้เพื่อทำการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆของหัวอ่านต่อไป หลังจากผ่านไปแล้ว 6 วินาที แรงดันก็จะเข้าที่ทางเข้าที่ 2 ซึ่งจะทำให้ Collar ชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2 เคลื่อนที่ลงไปพร้อมกันจนถึงระยะต่ำสุด ซึ่งจะค้างเวลาเอาไว้ 6 วินาที จึงเคลื่อนที่ขึ้นและลงอย่างนี้ไปเรื่อยๆ โดยสรุปคือ ในการเคลื่อนที่ขึ้นและลง 1 รอบ จะใช้เวลา 12 วินาที นั่นคือ มีการเคลื่อนที่ 5 รอบต่อนาที หรือ 300 รอบต่อชั่วโมง

3.3 แบบจำลองส่วนประกอบของชุดทดลอง



รูปที่ 6 แสดงแบบจำลองส่วนประกอบของชุดทดลอง

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

1. ทำการชั่งน้ำหนักของซิลชุดที่ 1 ก่อนการประกอบเข้ากับชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ บันทึกค่าที่ได้
2. ประกอบซิลชุดที่ 1 และซิลชุดอื่นๆเข้ากับชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์
3. ประกอบชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ประกอบซิลทุกชุดเข้ากับชุดยึดชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์
4. ปรับค่าความดันที่ทางเข้าที่ 1 และทางเข้าที่ 2 ของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไว้ที่ 3.0 บาร์ และจำนวนรอบตั้งค่าไว้ที่ 2,000 รอบ

5. หลังจากเดินเครื่องได้ครบ 2,000 รอบแล้วให้หยุดการเดินเครื่องและถอดชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ออก

6. ถอดซิลชุดที่ 1 ของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ออกแล้วนำไปชั่งน้ำหนักหลังการทดลอง บันทึกค่าที่ได้

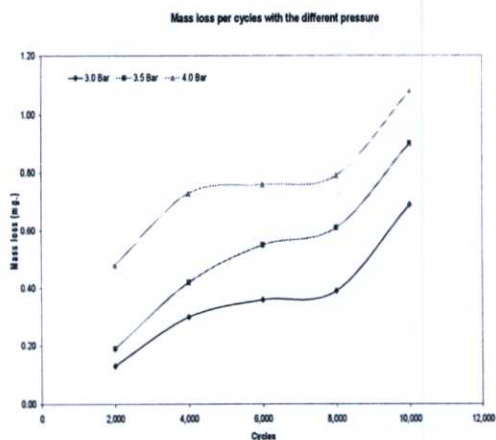
7. ทำการเปลี่ยนซิลของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ออกทุกชุดและประกอบตัวใหม่ทุกชุด แล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 1. ถึง ข้อ 6. โดยการเพิ่มจำนวนรอบขึ้นทีละ 2,000 รอบ จนถึง 10,000 รอบ และเพิ่มความดันขึ้นทีละ 0.5 บาร์ จนถึง 4.0 บาร์

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

จากการทดลองจะพบว่า ซิลที่เกิดการสึกหรอมากที่สุดจนทำให้ต้องหยุดระบบเพื่อเปลี่ยนซิล ทุกชุด คือ ซิล ชุดที่ 1 เหตุที่ต้องทำการเปลี่ยนซิลทุกชุด เพราะเมื่อถอดชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ออกมาจากชุดยึดแล้ว ซิลทุกชุดจะมีสภาพที่ไม่พร้อมในการใช้งานต่อไปได้ เพราะ จะเกิดการสึกหรอขึ้นเหมือนกัน แต่มีสภาพที่น้อยกว่า ซิลชุดที่ 1 ดังนั้น ในการพิจารณาการสึกหรอของซิล จึงทำการโฟกัสไปที่ซิลชุดที่ 1 เป็นประเด็นหลัก

4.1 ผลการทดลองของซิลขนาดเก่า

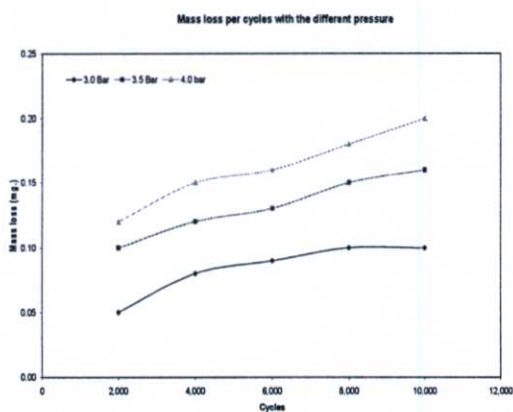
จากรูปที่ 7 เมื่อจำนวนรอบการใช้งานและความดันใช้งานเพิ่มขึ้น จะพบว่า มวลที่สูญเสียไปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมาก โดยความดันใช้งานเท่ากับ 3.0 บาร์ จะมีมวลที่สูญเสียไปน้อยที่สุดในทุกจำนวนรอบการใช้งาน นั่นคือ มีปริมาณการสึกหรอน้อยที่สุด จึงเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน



รูปที่ 7 แสดงมวลที่สูญเสียไปต่อจำนวนรอบที่ความดันที่แตกต่างกันของซีลขนาดเก่า

4.2 ผลการทดลองของซีลขนาดใหม่

จากรูปที่ 8 เมื่อจำนวนรอบการใช้งานและความดันใช้งานเพิ่มขึ้น จะพบว่า มวลที่สูญเสียไปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยความดันใช้งานเท่ากับ 3.0 บาร์ จะมีมวลที่สูญเสียไปน้อยที่สุดในทุกๆจำนวนรอบการใช้งาน นั่นคือ มีปริมาณการสึกหรอน้อยที่สุด จึงเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน

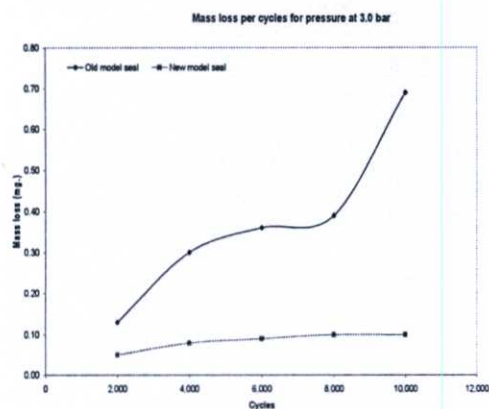


รูปที่ 8 แสดงมวลที่สูญเสียไปต่อจำนวนรอบที่ความดันที่แตกต่างกันของซีลขนาดใหม่

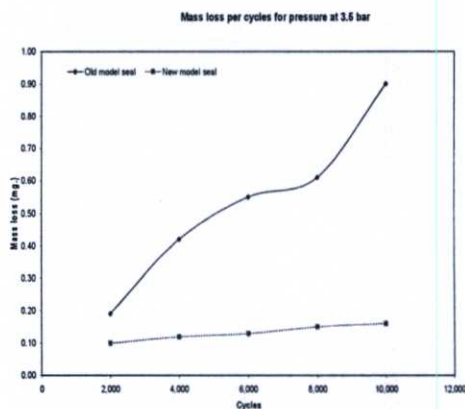
4.3 เปรียบเทียบผลการทดลองของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่

เมื่อนำผลการทดลองของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่มาทำการเปรียบเทียบการสึกหรอที่ความดัน

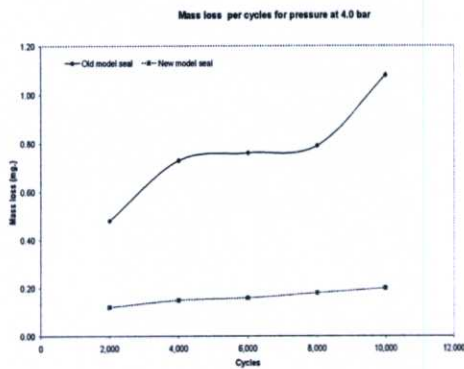
เดียวกัน ดังรูปที่ 9 – 11 จะพบว่า ซีลขนาดเก่ามีอัตราการสึกหรอมากกว่าซีลขนาดใหม่ในทุกๆจำนวนรอบการใช้งาน โดยที่ซีลขนาดใหม่จะมีอัตราการสึกหรอน้อยมาก และการสึกหรอลดลงถึง 85.51 % ที่ความดัน 3.0 บาร์ และ จำนวนรอบเท่ากับ 10,000 รอบ ซึ่งเป็นความดันที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน



รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่ที่ความดันใช้งานเท่ากับ 3.0 บาร์



รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่ที่ความดันใช้งานเท่ากับ 3.5 บาร์



รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบการสึกหรอของซีลขนาดเก่าและขนาดใหม่ที่ความดันใช้งานเท่ากับ 4.0 บาร์

5. บทสรุป

วัสดุอีลาสโตเมอร์ที่ใช้ในการทำซีลสำหรับชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ให้ผลการทดลองที่สามารถสรุปได้ว่า ซีลสามารถลดการสึกหรอได้โดยการเพิ่มขนาดเพื่อลดความเค้นเฉือน ในการทดลองนี้ได้ทำการเพิ่มขนาดของซีลขึ้นไปอีก

25% จากขนาดเก่า จากการทดลองจะพบว่าทั้งซีลขนาดใหม่และขนาดเก่าจะมีการสึกหรอเพิ่มขึ้น เมื่อทั้งความดันและจำนวนรอบการใช้งานเพิ่มมากขึ้น แต่ซีลขนาดใหม่จะมีการสึกหรอน้อยกว่าซีลขนาดเก่ามากและยังมีอัตราการสึกหรอที่น้อยกว่าด้วย โดยที่ซีลขนาดใหม่ช่วยทำให้การสึกหรอลดลงถึง 85.51% ที่ความดันใช้งานเท่ากับ 3.0 บาร์ และ จำนวนรอบการใช้งานเท่ากับ 10,000 รอบ ซึ่งเป็นความดันที่เหมาะสมที่สุดในการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมายัง ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้การสนับสนุนทุนสำหรับทำการวิจัย ขอขอบคุณมายัง บริษัท ซีเกท (เทคโนโลยี) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์การทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bin-Bin Jia, Tong-Sheng Li, Xu-Jun Liu, Pei-Hong Cong, "Tribological behaviors of several polymer-polymer sliding combinations under dry friction and oil-lubricated condition." *Wear* 262, 2007 : 1353-1359.
- [2] J.-M. Degrange, M. Thomine, Ph. Kapsa, J.M. Pelletier, L. Chazean, G. Vigier, G. Dudragne, L. Guerbe, "Influence of viscoelasticity on the tribological behaviour of carbon black filled nitrile rubber (NBR) for lip seal application." *Wear* 259, 2005 : 684-692.
- [3] T. Raparelli, A. Manuello, L. Mazza, "Experimental and numerical study of friction in an elastomeric seal for pneumatic cylinders." *Tribology International*, Vol. 30, No. 7, 1997 : 547-552.
- [4] Hai Sui, Heiko Pohl, Uwe Schomburg, Gerd Upper, Steffen Heine, "Wear and friction of PTFE seals." *Wear* 224, 1999 : 175-182.
- [5] Shi-Quan Lai, Li Yueb, Tong-Sheng Li, Zhi-Meng Hua. "The friction and wearproperties of polytetrafluoroethylenefilled with ultrafine diamond." *Wear*. 260, 2006 : 462-468.
- [6] H. Unal, U. Sen, A. Mimaroglu. "An approach to friction and wear properties of polytetrafluoroethylene composite." *Materials and Design*. 27, 2006 : 694-699.

- [7] J. Vande Voort, S. Bahadur. "The growth and bonding of transfer film and the role of CuS and PTFE in the tribological behavior of PEEK." *Wear*. 181-183, 1995 : 212-221.
- [8] S. Bahadur, V.K. Polineni. "Tribological studies of glass fabric-reinforced polyamide composites filled with CuO and PTFE." *Wear*. 200, 1996 : 95-104.
- [9] Z.P. Lu, K. Friedrich. "On sliding friction and wear of PEEK and its composites." *Wear*. 181-183, 1995 : 624-631.

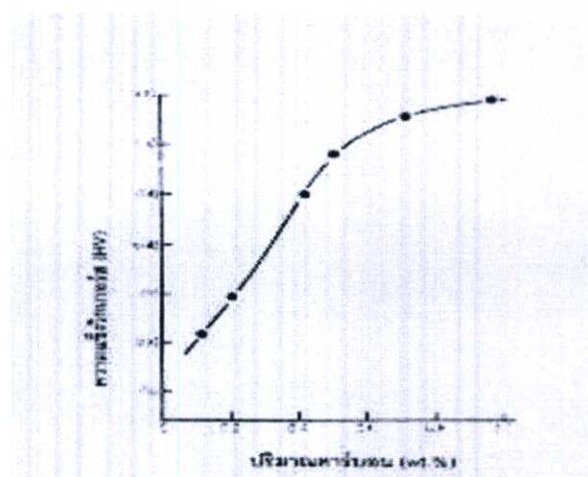
ภาคผนวก ข

การใช้วิศวกรรมพื้นผิวเพื่อช่วยป้องกันการสึกหรอ

การใช้วิศวกรรมพื้นผิวเพื่อช่วยป้องกันการสึกหรอ

ทางเลือกหนึ่งในการป้องกันการสึกหรอของวัสดุคือ การเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอให้กับชิ้นงานเฉพาะพื้นผิวภายนอกเท่านั้น เนื่องจากการสึกหรอมักจะเริ่มเกิดจากผิวภายนอกทั้งสิ้น ‘วิศวกรรมพื้นผิว’ หรือ ‘Surface Engineering’ การปรับปรุงคุณสมบัติหรือการเพิ่มคุณสมบัติบางประการให้กับวัสดุเฉพาะที่บริเวณพื้นผิวด้านนอก โดยการทำให้วิศวกรรมพื้นผิวนี้อาจต้องไม่ทำให้เนื้อวัสดุโดยรวมสูญเสียคุณสมบัติที่สำคัญไป ยกตัวอย่างเช่น การทำสีกันสนิมลงบนเนื้อเหล็กกล้า ในที่นี้เหล็กกล้าจะยังคงคุณสมบัติความแข็งแรงและความเหนียวไว้ดังเดิม แต่ได้คุณสมบัติการต้านทานการกัดกร่อนจากบรรยากาศเพิ่มขึ้นมาจากการทำสีกันสนิม ในทางกลับกัน การทำ Tempering ที่อุณหภูมิสูง (450-700 องศาเซลเซียส) สามารถเพิ่มความเหนียวให้กับเนื้อเหล็กแต่คุณสมบัติความแข็งแรงของเหล็กนั้นจะด้อยลง จึงไม่จัดเป็นวิธีทางวิศวกรรมพื้นผิว ด้วยเหตุผลเหล่านี้ วิศวกรรมพื้นผิวจึงเป็นที่นิยมในงานหลายประเภท เนื่องจากการเพิ่มคุณสมบัติอื่นที่ต้องการ โดยไม่ทำลายคุณสมบัติเดิมทำให้วิศวกรและนักออกแบบไม่จำเป็นต้องสรรหาวัสดุใหม่มาทดแทนวัสดุที่ใช้อยู่เดิม

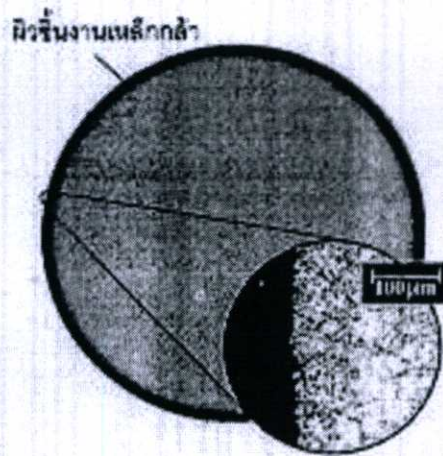
1. กระบวนการคาร์บูไรซิ่ง (Carburising) คาร์บูไรซิ่งเป็นเทคนิคการสร้างผิวแข็งสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำวิธีหนึ่ง ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มปริมาณคาร์บอนเข้าไปในชั้นผิวหน้าของวัสดุชิ้นงานนั้น ชั้นผิววัสดุที่มีปริมาณคาร์บอนสูงจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 1 ประกอบ การเพิ่มปริมาณคาร์บอนสามารถทำได้โดยวิธีการแบบ Pack หรือแบบแก๊ซ คาร์บูไรซิ่ง



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของเหล็กมาร์เทนไซด์กับปริมาณคาร์บอนในเหล็กกล้าคาร์บอน

ในการทำ แพคคาร์บูไรซิ่ง ชิ้นส่วนที่ต้องการผ่านกระบวนการจะถูกนำมาอัดอยู่ในวัสดุอื่นที่มีคาร์บอนในปริมาณสูง (Carbonaceous materials) เช่น ถ่านโค้ก ถ่านไม้ คาร์บอน-คาร์บอนเนต ไชยานเนต และน้ำมัน โดยอาจจะมีตัวกระตุ้น (Active) ผสมอยู่ด้วย โดยวัสดุต่างๆเหล่านี้จะถูกบรรจุอยู่ในภาชนะปิด และนำมาให้ความร้อนในเตาที่อุณหภูมิ 850 ถึง 930 องศาเซลเซียส สำหรับการทำให้ Gas คาร์บูไรซิ่ง ชิ้นส่วนที่ต้องการผ่านกระบวนการจะถูกนำมาอบให้ความร้อนในก๊าซ Carbon monoxide/hydrocarbon เช่น มีเทน หรือ โพรเพน ที่อุณหภูมิ 850 ถึง 930 องศาเซลเซียส เมื่อผ่านกระบวนการคาร์บูไรซิ่งแล้ว เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเหล่านี้จะมีปริมาณคาร์บอนที่ผิวเพิ่มขึ้นเป็น 0.6 ถึง 1.2% และมีความลึกของคาร์บอนถึง 1.25 มม. ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับกระบวนการและระยะเวลาที่ใช้ในการทำคาร์บูไรซิ่ง

ในขั้นตอนต่อไป ชิ้นงานที่มีปริมาณคาร์บอนที่ผิวสูงเหล่านี้ก็จะถูกนำมาให้ความร้อนเพื่อทำการชุบแข็งแบบ Heat treatment \Rightarrow Quenching \Rightarrow Tempering เพื่อให้เกิดเฟสมาร์เทนไซต์ (Martensite) ที่มีความแข็งสูงขึ้น และให้ชิ้นส่วนมีคุณสมบัติความแข็งตามที่ต้องการ ชิ้นงานจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ แต่อาจมีการบิดงอของชิ้นส่วนที่ขนาดบางได้ เนื่องจากอุณหภูมิสูงที่ใช้ทำ Heat treatment



รูปที่ 2 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคหน้าตัดขวางและภาพขยายบริเวณผิวของชิ้นงานรูปทรงกระบอกที่ผ่านการทำให้ Gas คาร์บูไรซิ่งและการชุบแข็งมาแล้ว

2. กระบวนการไนตรายดิ่ง (Nitriding) ไนตรายดิ่งเป็นวิธีการหนึ่งของกระบวนการทางเคมี ความร้อน (Thermo chemical process) ในการสร้างชั้นผิวแข็งสำหรับเหล็กกล้าเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแรงในการล้า (Fatigue strength) ซึ่งจะมีผลต่อความต้านทานการสึกหรอของวัสดุชิ้นๆ ชิ้นส่วนที่ต้องการผ่านกระบวนการจะถูกนำมาให้ความร้อนที่ประมาณ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศก๊าซแอมโมเนีย หรือ ก๊าซผสมของไนโตรเจน ไฮโดรเจนและแอมโมเนีย นานประมาณ 50 ถึง 100 ชั่วโมง ก๊าซแอมโมเนียจะเริ่มแตกตัวตามสมการ $NH_3 \leftrightarrow N + 3H$ อะตอมของไนโตรเจนที่แตกตัวออกมา (Nascent Nitrogen) จะไปรวมตัวกับอะตอมของโลหะเนื้อชิ้นงานและเกิดเป็นอนุภาคแข็งของโลหะไนตรายดิ่งขึ้น ดังนั้น กระบวนการไนตรายดิ่งจึงใช้สำหรับสร้างผิวแข็งให้กับเหล็กกล้าผสม (Alloy steel) เท่านั้น โดยทั่วไป เหล็กกล้าที่ใช้ทำไนตรายดิ่งจะมีส่วนผสมประมาณ 0.2- 0.5% C, 1%Al, ไม่เกิน 2%Cr และประมาณ 0.2%Mo ซึ่งอะตอมของไนโตรเจนจะเข้าไปจับตัวกับ Al และ Cr เพื่อสร้างอนุภาคแข็งดังกล่าวขึ้นที่บริเวณผิวด้านนอกของชิ้นงาน ซึ่งสามารถมีความแข็งได้ถึง 1100 H_D (Vickers diamond hardness) และมีความแข็งลึกถึง 0.4 มม. เมื่อผ่านกระบวนการไนตรายดิ่งแล้ว ชิ้นงานไม่จำเป็นต้องผ่านการชุบแข็ง (Heat treatment) อีก ชิ้นงานที่ผ่านการทำไนตรายดิ่งจะมีขนาดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และมีการบิดเบี้ยวของชิ้นงานต่ำมากเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ทำไนตรายดิ่งต่ำจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงเฟสเกิดขึ้น

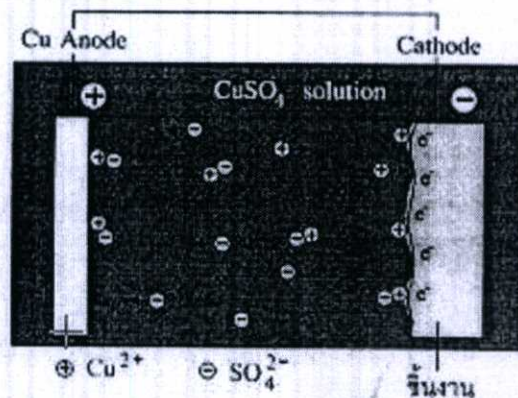
3. กระบวนการคาร์บอนไนตรายดิ่ง (Carbonitriding) คาร์บอนไนตรายดิ่ง หรือ ไนโตรคาร์บูไรซิ่ง เป็นวิธีการชุบผิวแข็งที่เป็นการผสมผสานระหว่างกระบวนการคาร์บูไรซิ่งและกระบวนการไนตรายดิ่ง สามารถชุบผิวแข็งให้กับผิวเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำได้ ในกระบวนการนี้ ธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนจากบรรยากาศอบชุบจะแพร่เข้าไปในผิวของเหล็กกล้า ชิ้นส่วนที่นำมาชุบจะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 800 ถึง 870 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศไฮโดรคาร์บอนแอมโมเนีย เป็นเวลาหลาย ชั่วโมง หลังจากนั้น ผิวจะถูกชุบให้แข็งขึ้นอีกโดยการลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็ว (Quenching) และการอบคืนตัว (Tempering) ผิวแข็งลึกที่ได้จากกระบวนการนี้จะอยู่ที่ประมาณ 0.5 มม. และมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดน้อยมาก การบิดเบี้ยวของชิ้นงานก็น้อยกว่าชิ้นงานจากกระบวนการคาร์บูไรซิ่ง

4. กระบวนการพลาสมาไนตรายดิ่ง (Plasma Nitriding) พลาสมาไนตรายดิ่งหรือไอออนไนตรายดิ่งเป็นกระบวนการแบบพลาสมา สำหรับทำไนตรายดิ่งของเหล็กกล้าอีกวิธีหนึ่ง ชิ้นงานที่ต้องการทำพลาสมาไนตรายดิ่งจะถูกบรรจุไว้ในห้องหรือถังสุญญากาศ ความต่างศักย์ไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 300 ถึง 1000 โวลต์ จะถูกใส่ให้ชิ้นงานเหล็กกล้าเป็นขั้วลบ และผนังด้านในของถังสุญญากาศเป็นขั้วบวก ก๊าซไนโตรเจน (N_2) ที่ความดันต่ำประมาณ 1-10 torr จะถูกป้อนเข้ามาในถังสุญญากาศและถูกไอออนไนซ์โดยสนามไฟฟ้าทำให้เกิดการแตกตัวออกเป็นไนโตรเจนไอออน (N^+) ซึ่งอยู่ใน

สถานะพลาสมา ในโตรเจนไอออนขั้วบวกเหล่านี้จะถูกดูดเข้าไปหาผิวชิ้นงานซึ่งเป็นขั้วลบ และไอออนบางส่วนจะแพร่ซึมผ่านเข้าไปใต้ผิวชิ้นงานเพื่อแทรกอยู่ในเนื้อวัสดุ และเพื่อทำปฏิกิริยากับธาตุโลหะของชิ้นงานสร้างเป็นอนุภาคไนตรายด์ชั้น ผิวชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการไนตรายด์มีความแข็งได้ถึง $1100 H_D$ (Vickers diamond hardness) ในกระบวนการนี้ชิ้นงานจะได้รับความร้อนจากก๊าซพลาสมาและจากการชนของไนโตรเจนไอออน ซึ่งอยู่ระหว่าง 500 ถึง 600 องศาเซลเซียส

พลาสมาไนตรายด์เป็นกระบวนการที่รวดเร็ว และให้คุณภาพผิวสูงเมื่อเทียบกับการทำไนตรายด์แบบเดิม กล่าวคือ สามารถให้ผิวไนตรายด์ที่สม่ำเสมอบนชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ นอกจากนี้พลาสมาไนตรายด์ยังจัดเป็นเทคโนโลยีสะอาด (ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ) อีกวิธีหนึ่ง

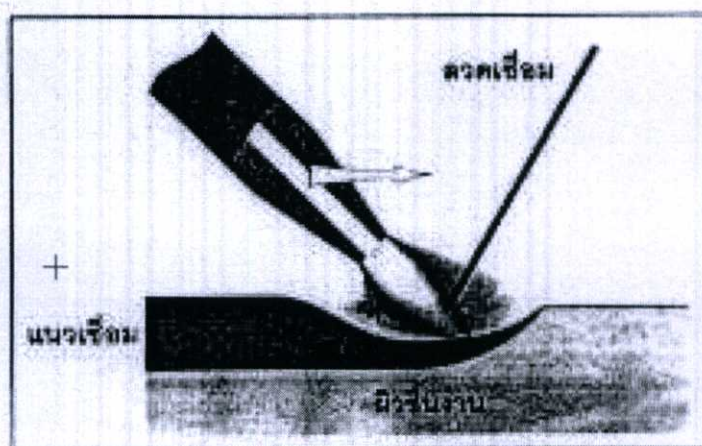
5. การเคลือบด้วยกระแสไฟฟ้า (Electroplating) การเคลือบชั้นโลหะบางลงบนชิ้นงานโลหะด้วยกระแสไฟฟ้านิยมทำเพื่อความสวยงามและเพื่อเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion resistance) และความต้านทานการสึกหรอ (Wear resistance) ให้กับชิ้นงาน ในกระบวนการนี้ ชิ้นงานที่ต้องการจะนำมาเคลือบจะถูกต่อเข้ากับขั้วลบ (ขั้วลบ) และวัสดุที่นำมาเคลือบจะต่อเป็นขั้วบวก (ขั้วบวก) และจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสม เมื่อให้ความดันไฟฟ้าก็จะเกิดการเคลื่อนที่ของไอออนและอิเล็กตรอนขึ้น โดยไอออนจากวัสดุที่นำมาเคลือบ (ไอออนบวก) จะเดินทางผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์มายังผิวชิ้นงานซึ่งเป็นขั้วลบเนื่องจากมีอิเล็กตรอนวิ่งมาสะสมอยู่บนผิวหน้า ไอออนบวกก็จะรับอิเล็กตรอนเข้ามา กลายสถานะเป็นของแข็งของวัสดุที่นำมาเคลือบและเกาะอยู่บนชิ้นงานเกิดการทับถมกันของวัสดุจนสร้างเป็นชั้นผิวเคลือบขึ้นในที่สุด



รูปที่ 3 ภาพแสดงหลักการการเคลือบผิวชิ้นงานโลหะด้วยกระแสไฟฟ้า โดยในรูปแบบนี้เป็นการเคลือบทองแดงลงบนชิ้นงานในสารละลาย $CuSO_4$

วัสดุที่นำมาเคลือบเพื่อป้องกันการสึกหรอสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ โลหะนํม เช่น คินุก และ เงิน ซึ่งนิยมนำมาเคลือบแบร็ง และ โลหะแข็ง โดยเฉพาะ นิเกิลและโครเมียม (มักเรียกว่า การทำ 'Hard chrome') ที่ให้ความแข็งสูงและความเสียดทานต่ำ ยกตัวอย่างเช่น การเคลือบวาล์ว ลูกสูบ ดิสก์เบรก และ แม่พิมพ์ต่างๆ นอกจากนี้ การเคลือบด้วยกระแสไฟฟ้ายังสามารถใช้ผลิตผิวเคลือบวัสดุผสมเสริมอนุภาคแข็ง (Particle-reinforced composite) ได้ โดยทำการเคลือบร่วมกับอนุภาคละเอียดของ เพชร, SiC หรือ Al_2O_3 เป็นต้น หรือแม้กระทั่งเคลือบกับอนุภาคของสาร โพลีเมอร์หล่อลื่น เช่น PTFE ที่แขวนลอยอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยการกวน ซึ่งผิวเคลือบก็จะได้รับคุณสมบัติความแข็งหรือความลื่นของอนุภาคดังกล่าวมาด้วย

6. การเชื่อมพอกผิว สำหรับเทคนิคการเชื่อมพอก (รูปที่ 4) วัสดุผิวเคลือบซึ่งอยู่ในรูปของลวดเชื่อมจะถูกหลอมบนผิวชิ้นงานโลหะด้วยเปลวเพลิงจากแก๊ซ หรือ จากพลังงานไฟฟ้า ให้มาพอกและแข็งตัวอยู่บนชิ้นงาน

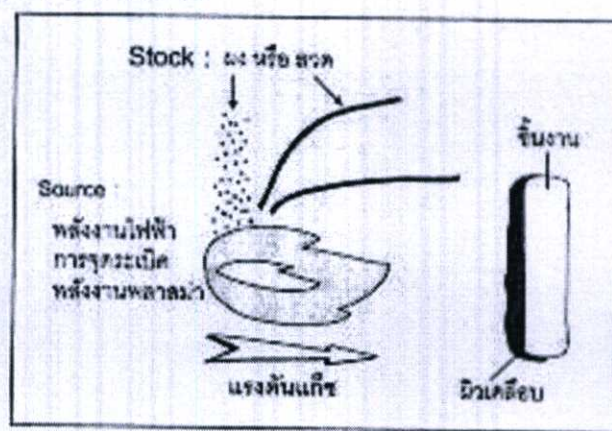


รูปที่ 4 ภาพประกอบแสดงหลักการเชื่อมพอก

ในขณะที่ทำการเชื่อม เนื่องจากแหล่งความร้อนอยู่เหนือชิ้นงานเพียงเล็กน้อย ผิวด้านนอกของชิ้นงานจึงเกิดการหลอมไปด้วยพร้อมกัน ซึ่งโลหะหลอมเหลวจากชิ้นงานและจากลวดเชื่อมก็จะมาผสมเข้ากันจนเกือบจะเป็นเนื้อเดียวกัน ส่งผลให้ผิวเชื่อมพอกมีแรงยึดเกาะบนชิ้นงานที่สูงมาก นอกจากนี้ วัสดุโลหะลวดเชื่อมก็มีมากมายหลายประเภท ตั้งแต่ เหล็กกล้าเกรดต่ำๆ เหล็กกล้าไร้สนิม นิกเกิลอัลลอย โครบอลท์อัลลอย เป็นต้น โดยการเลือกใช้จะต้องคำนึงถึงวัสดุที่เป็นเนื้อชิ้นงานว่ามีความเข้ากันได้

ดีเพื่อให้ได้แรงยึดเกาะที่สูง และสมบัติที่ต้องการในการนำไปใช้งาน เช่น ความแข็ง และความต้านทานการกัดกร่อน เป็นต้น เทคนิคการเชื่อมพอกเป็นเทคนิคที่แพร่หลายมากในอุตสาหกรรมหลายประเภท ความหนาของผิวเคลือบที่สามารถผลิตได้เริ่มตั้งแต่ ประมาณ 750 ไมครอน ถึง หลายมิลลิเมตรทีเดียว ซึ่งความหนาในระดับนี้ทำให้สามารถนำเทคนิคการเชื่อมพอกมาใช้ซ่อมแซมชิ้นส่วนที่สึกหรอและเสียเนื้อวัสดุไปมาก โดยพอกผิวขึ้นมาใหม่ให้มากกว่าผิวเดิมแล้วเจียรแต่งผิวให้เรียบ หรือใช้ในสร้างผิวด้วยวัสดุแข็งเพื่อป้องกันการสึกหรอ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ในขณะที่ทำการเชื่อมพอก ชิ้นงานจะได้รับความร้อนสูงมาก ซึ่งอาจทำให้ชิ้นงานบิดงอเสียรูปหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างไปได้ จึงเป็นข้อระวังในการเลือกใช้งาน

7. การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน (Thermal spray) การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน หรือ Thermal spray เป็นกรรมวิธีทางวิศวกรรมพื้นผิวที่สามารถผลิตผิวเคลือบที่มีความร้อนตั้งแต่ 50 ไมครอน (0.05 มม.) ขึ้นไป จากวัสดุแทบทุกประเภทที่สถานะของเหลวมีช่วงอุณหภูมิกว้างพอ ซึ่งรวมไปถึง โลหะ อโลหะ อัลลอย สารประกอบโลหะ เซรามิก และ โพลีเมอร์ ปัจจุบันมีการใช้ Thermal spray กันอย่างแพร่หลายเพื่อจุดประสงค์ต่างๆ เช่น การซ่อมบำรุงรักษาชิ้นส่วนเครื่องจักรกล การผลิตผิวเคลือบเพื่อเป็นตัวนำหรือเป็นฉนวนไฟฟ้า และที่สำคัญ การผลิตผิวเคลือบเพื่อป้องกันการสึกหรอ โดยจุดประสงค์ในการใช้งานจะเป็นตัวกำหนดวัสดุที่จะนำมาผลิตเป็นผิวเคลือบ



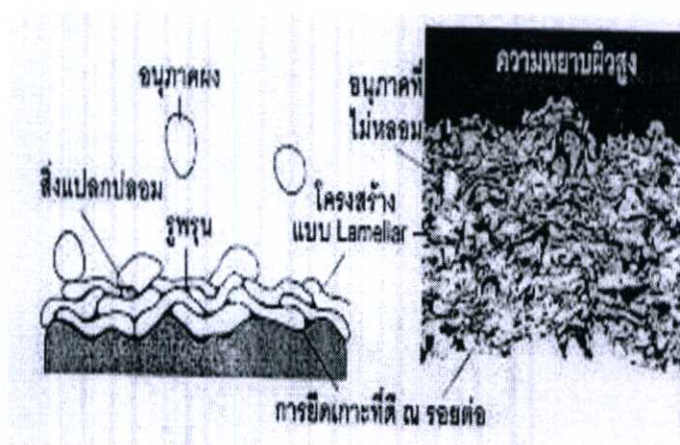
รูปที่ 5 ภาพประกอบแสดงหลักการผลิตผิวเคลือบของการพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน

Thermal spray คือการผลิตชั้นผิวเคลือบจากวัสดุ 'stock' ซึ่งจะอยู่ในรูปผงหรือลวดก็ตาม โดยการให้ความร้อนกับ stock จนกระทั่งเริ่มเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลว หรือ เป็นของแข็งกึ่ง

ของเหลว จากนั้นจึงใช้แรงดันแก๊สในการดัน stock หลอมเหลวดังกล่าวไปปะทะบนผิวเพื่อให้ยึดเกาะกับชิ้นงาน

อนุภาคหลอมเหลวเมื่อถูกดันไปปะทะกับชิ้นงานจะแผ่แบนออกมาบนผิวตามแรงอัด คล้ายน้ำหยดลงพื้นและจะแข็งตัวอย่างเฉียบพลันเนื่องจากชิ้นงานมีอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ อนุภาคแบนที่แข็งตัวบนผิวจะเรียกว่า 'Splat' เมื่อ Splat มาทับถมกันหลายชั้นขึ้นก็จะกลายเป็นผิวเคลือบขึ้นมา

Thermal spray สามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทด้วยกันตามแหล่งพลังงาน (Source) ที่ใช้หลอมวัสดุ stock เช่น การพ่นเคลือบด้วยลวดอาร์ค (พลังงานไฟฟ้า) การพ่นเคลือบผงด้วยเปลวเพลิงปกติหรือเปลวเพลิงความเร็วสูง (การจู่ระเบิด) และการพ่นเคลือบผงด้วยเปลวพลาสมา (พลังงานพลาสมา) ดังรูปที่ 6 เป็นต้น เทคนิคแต่ละประเภทก็จะมีข้อดี/ข้อเสียแตกต่างกันไป โดยรวมแล้ว Thermal spray เป็นเทคนิคที่มีราคาถูกและรวดเร็ว ใช้ได้กับชิ้นงานตั้งแต่ขนาดเล็ก (รากฟันเทียม เพลาขนาดเล็ก) จนถึงใหญ่มาก (กาบเรือ โครงสร้างสะพาน) แต่ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อน สามารถใช้ผลิตผิวเคลือบได้หลายประเภท กล่าวคือ โลหะ เซรามิก โพลีเมอร์และคอมโพสิต โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการที่เลือกใช้ คุณภาพของผิวเคลือบก็ขึ้นอยู่กับกระบวนการที่เลือกใช้เช่นกัน การพ่นเคลือบที่ไม่มีการปรับตัวแปรในกระบวนการให้เหมาะสมจะนำไปสู่ผิวเคลือบที่มีรูพรุนสูง และ/หรือ มีแรงยึดเกาะต่ำ ซึ่งทำให้ความสามารถในการป้องกันการสึกหรอลดลง



รูปที่ 6 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของผิวเคลือบ WC-17%Co ที่พ่นเคลือบด้วยกระบวนการพ่นเคลือบด้วยเปลวพลาสมา (Plasma Spray)

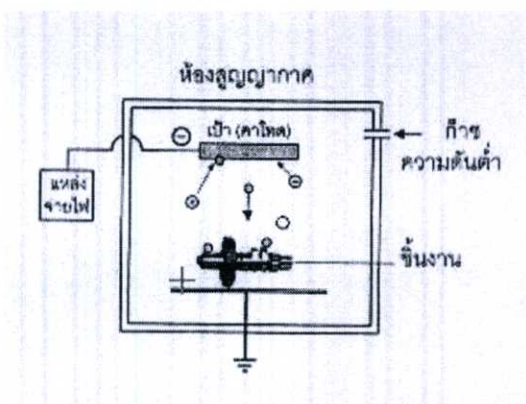
Thermal spray จัดเป็นกรรมวิธีแบบเย็น (Cold process) ที่มีข้อดีคือสามารถรักษาอุณหภูมิของชิ้นงานไม่ให้สูงเกิน 200 ถึง 400 องศาเซลเซียส ได้ ซึ่งจะหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนเฟส การบิดเบี้ยวและการ

เสียรูปร่างของชิ้นงานได้ ที่สำคัญ Thermal spray ยังเป็นเทคโนโลยีสะอาด (ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ) อีกวิธีหนึ่งด้วย

การพ่นเคลือบเพื่อป้องกันการสึกหรอสามารถทำได้โดยเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม วัสดุที่ใช้แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ วัสดุที่ให้ความนิ่ม เช่น Al-bronze, Sn วัสดุที่ให้ความแข็ง เช่น $NiCr, WC - Co, NiCr - Cr_2 O_3, Al_2 O_3$ และวัสดุที่ให้ความลื่น เช่น $Mo, MoSi_2$ เป็นต้น การเลือกใช้วัสดุและกระบวนการพ่นเคลือบที่ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่จะให้ผิวเคลือบเพื่อป้องกันการสึกหรอที่มีคุณภาพสูง

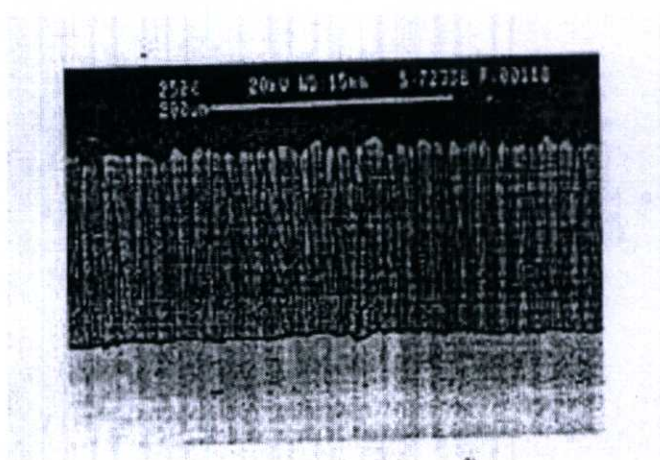
8. การเคลือบผิวด้วยไอทางกายภาพ (Physical Vapour Deposition, PVD) การเคลือบผิวด้วยไอทางกายภาพ หรือ ที่รู้จักกันในชื่อว่า PVD เป็นการสร้างฟิล์มบาง เพื่อจุดประสงค์ต่างๆ เช่น ฟิล์มแข็งเพื่อป้องกันการสึกหรอ และฟิล์มที่มีคุณสมบัติเฉพาะทางไฟฟ้า เป็นต้น โดยคล้ายกันกับ Thermal spray จุดประสงค์ในการใช้งานจะเป็นตัวกำหนดวัสดุที่จะมาผลิตเป็นฟิล์มบาง

PVD เป็นกระบวนการผลิตผิวเคลือบโดยการเปลี่ยนวัสดุผิวเคลือบให้กลายเป็นไอ ซึ่งจะมากลับตัวลงบนผิวหน้าของชิ้นงานและสร้างเป็นฟิล์มบนผิวชิ้นงานขึ้น กระบวนการ PVD สามารถแบ่งประเภทตามวิธีที่ใช้ในการเปลี่ยนวัสดุผิวเคลือบให้กลายเป็นไอ กล่าวคือ วิธีทางความร้อน เช่น Vacuum evaporation หรือ sublimation และวิธีที่ไม่ใช้ความร้อน เช่น Sputtering หรือ Laser ablation เป็นต้น การทำ PVD อาจใช้ห้องสุญญากาศเพื่อลดการเกิดปฏิกิริยา และลดการกระเจิงของอะตอม หรืออาจทำในบรรยากาศของก๊าซเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาและสร้างผิวเคลือบสารประกอบขึ้นมาก็ได้



รูปที่ 7 ภาพประกอบแสดงกระบวนการ PVD แบบสปีดเตอร์ริง ไฟฟ้ากระแสตรง (DC sputtering PVD)

รูปที่ 7 แสดงกระบวนการ PVD แบบสปัตเตอร์ริง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ง่ายและนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม จากรูป เป้า (Target) คือวัสดุที่จะนำมาเป็นผิวเคลือบ จะถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟให้เป็นขั้วคาโทด (ขั้วลบ) และชิ้นงานจะวางอยู่บนฐานที่เป็นอานอด (ไม่มีขั้ว ต่อเข้ากับสายดิน) โดยวางหันหน้าเข้าหากัน ก๊าซที่ใช้ในการสปัตเตอร์ริง ซึ่งอาจเป็นก๊าซอาร์กอน จะถูกป้อนเข้ามาในห้องสุญญากาศ โดยให้ความดันไอไม่เกิน 100 mtorr กระแสไฟ 2 ถึง 3 กิโลวัตต์ถูกปล่อยไปยังขั้วคาโทด ณ ขณะนี้ โมเลกุลของก๊าซอาร์กอนจะเริ่มแตกตัวเป็นไอออน(+) และอิเล็กตรอน(-) ไอออนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วจนสามารถวิ่งไปชนเป้า เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างขั้วแล้วกระแทกเอาอะตอมหรือไอออนของวัสดุเป้า (ผิวเคลือบ) ให้หลุดออกมาได้ อะตอมที่ถูกกระแทกออกมาจะได้รับการถ่ายเทพลังงานมาด้วยจึงวิ่งในทิศที่ออกมาจากเป้า และบางส่วนจะวิ่งไปเกาะที่ชิ้นงานซึ่งหันหน้าเข้าหาเราเอาไว้แล้ว อะตอมเหล่านี้จะเกาะบนผิวชิ้นงานและโตขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีอะตอมมาเกาะเพิ่มจนกลายเป็นผิวเคลือบขึ้นมา (รูปที่ 8)



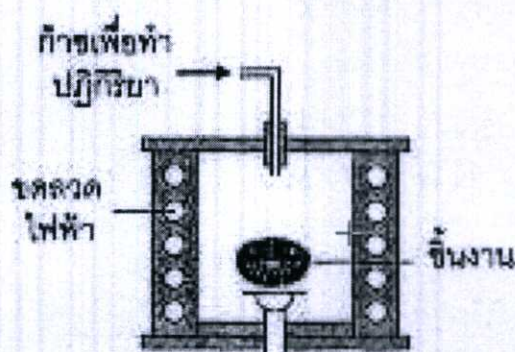
รูปที่ 8 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชั้นผิวเคลือบ ZrO_2
ผลิตโดยกรรมวิธี PVD

กระบวนการ PVD สามารถผลิตชั้นฟิล์มบางที่มีคุณภาพสูงได้ โดยคุณภาพของฟิล์มในที่นี้รวมถึง แรงยึดเกาะ ความหนาแน่น ความสม่ำเสมอ และยังสามารถให้ Surface finish ที่ดีโดยขึ้นอยู่กับผิวของชิ้นงานก่อนเคลือบ

ดังนั้น ชิ้นงานที่ต้องการคุณภาพผิวเคลือบสูง เช่น แม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ จึงมักจะผ่านกระบวนการ PVD เพื่อสร้างผิวกันสึก (เช่น TiN เป็นต้น) ก่อนการนำไปใช้งาน แต่อย่างไรก็ตาม PVD เป็น

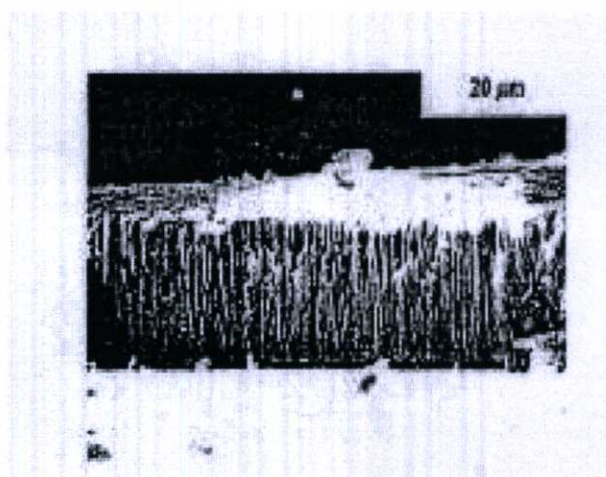
กระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายสูงมาก โดยเฉพาะค่าเครื่องมือ เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ห้องสุญญากาศซึ่งมีราคาแพงในการผลิต นอกจากนี้ ขนาดของชิ้นงานที่สามารถทำ PVD ได้ก็จะถูกจำกัดโดยขนาดของห้องสุญญากาศอีกด้วย

9. การเคลือบผิวด้วยไอทางเคมี (Chemical Vapour Deposition, CVD) การเคลือบผิวด้วยไอทางเคมี หรือ CVD เป็นกรรมวิธีการผลิตฟิล์มบางของโลหะเกือบทุกชนิดและอโลหะอีกหลายประเภท โดยเฉพาะสารประกอบออกไซด์ คาร์ไบด์และไนไตรด์ ที่มีการใช้งานที่หลากหลาย เช่น การเคลือบสารกึ่งตัวนำ การเคลือบเพื่อป้องกันการกัดกร่อน และการเคลือบเพื่อป้องกันการสึกหรอ เป็นต้น



รูปที่ 9 ภาพประกอบแสดงเครื่องมือสำหรับกระบวนการ CVD แบบใช้พลังงานไฟฟ้า

CVD เป็นกระบวนการสร้างชั้นผิวเคลือบลงบนชิ้นงานที่มีความร้อน โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีของไอระเหยหรือก๊าซเพื่อให้ได้ Product เป็นวัสดุที่จะมาสร้างเป็นผิวเคลือบ CVD สามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทตามแหล่งพลังงานที่ใช้ในการทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ไฟฟ้า พลาสมา และเลเซอร์ เป็นต้น รูปที่ 9 แสดงเครื่องมือสำหรับ Thermal CVD (แบบใช้พลังงานไฟฟ้า) ชิ้นงานจะถูกใส่ไว้ในห้องที่ซึ่งก๊าซเพื่อทำปฏิกิริยาจะถูกป้อนเข้ามาและได้รับความร้อนจนเกิดปฏิกิริยาเคมีและสร้างเป็นผิวเคลือบลงบนชิ้นงานขึ้น (รูปที่ 10)



รูปที่ 10 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชั้นผิวเคลือบ ZrO_2
ผลิตโดยวิธี CVD

ประเภทของก๊าซเพื่อทำปฏิกิริยาที่ถูกป้อนเข้าไปในห้องจะขึ้นอยู่กับผิวเคลือบที่ต้องการ ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามจุดประสงค์การนำไปใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น ชิ้นงานประเภทเฟืองที่ต้องการความลื่นและความแข็งสูงจะถูกเคลือบด้วย TiN โดยใช้ปฏิกิริยา $TiCl_4 + NH_3 + \frac{1}{2}H_2 \rightarrow TiN + 4HCl$ ที่ความดันประมาณ 100 kPa และอุณหภูมิสูงกว่า 900 องศาเซลเซียส ในบางกรณี อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการอาจสูงเกินไปสำหรับชิ้นงาน ซึ่งอาจหลีกเลี่ยงมาใช้ CVD แบบพลาสมาได้ เช่น ในกรณีผิวเคลือบ TiN อุณหภูมิที่ใช้สามารถลดลงมาที่ประมาณ 500 องศาเซลเซียส ได้ หากเปลี่ยนเป็นแบบพลาสมา นอกจากเฟืองแล้ว ชิ้นงานประเภทอื่น เช่น ลูกปืน วาล์ว แม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกและโลหะ ก็นิยมนำมาเคลือบด้วย TiN TiC SiC หรือ ฟิล์มคาร์บอน (Diamond-like carbon) เพื่อป้องกันการสึกหรอ โดยใช้ CVD เนื่องจากเป็นวิธีที่ค่อนข้างง่าย สะดวก รวดเร็ว สามารถเคลือบชิ้นงานรูปร่างซับซ้อนได้ และให้ผิวสุดท้ายที่ดี (ขึ้นอยู่กับสภาพผิวก่อนเคลือบ) แต่ CVD ไม่เหมาะสมกับการเคลือบลงบนชิ้นงานที่ไม่สามารถได้รับความร้อนสูงได้ และที่สำคัญ สารเคมีที่นำมาใช้ในกระบวนการมักเป็นสารพิษที่อันตราย นอกจากนี้ By-product ที่ได้ออกมาก็มักจะเป็นพิษ ซึ่งการจัดเก็บและการกำจัดจะต้องทำให้ถูกขั้นตอนและกฎระเบียบ ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

ภาคผนวก ก
ตารางแสดงผลการทดลอง

ผลการทดลองของซีลขนาดเก่า

OLD SEAL MODEL

Pressure (bar)	Cycles (round)	Mass (mg.)		
		Before	After	Mass Loss
3.00	2,000	2.62	2.49	0.13
3.00	4,000	2.53	2.23	0.30
3.00	6,000	2.65	2.29	0.36
3.00	8,000	2.58	2.19	0.39
3.00	10,000	2.65	1.96	0.69
3.50	2,000	2.68	2.49	0.19
3.50	4,000	2.49	2.07	0.42
3.50	6,000	2.72	2.17	0.55
3.50	8,000	2.72	2.11	0.61
3.50	10,000	2.62	1.72	0.90
4.00	2,000	2.68	2.20	0.48
4.00	4,000	2.60	1.87	0.73
4.00	6,000	2.60	1.84	0.76
4.00	8,000	2.73	1.94	0.79
4.00	10,000	2.67	1.59	1.08

ผลการทดลองของซีลขนาดใหม่

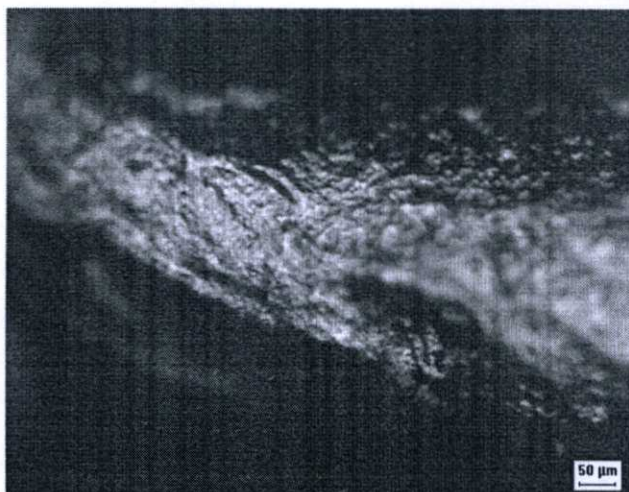
NEW SEAL MODEL

Pressure (bar)	Cycles (round)	Mass (mg.)		
		Before	After	Mass Loss
3.00	2,000	4.00	3.95	0.05
3.00	4,000	4.09	4.00	0.09
3.00	6,000	4.01	3.92	0.09
3.00	8,000	4.03	3.93	0.10
3.00	10,000	4.05	3.95	0.10
3.50	2,000	3.90	3.80	0.10
3.50	4,000	4.04	3.92	0.12
3.50	6,000	4.02	3.89	0.13
3.50	8,000	3.90	3.75	0.15
3.50	10,000	3.91	3.75	0.16
4.00	2,000	3.91	3.79	0.12
4.00	4,000	3.95	3.80	0.15
4.00	6,000	3.95	3.79	0.16
4.00	8,000	3.96	3.78	0.18
4.00	10,000	0.97	0.77	0.20

ภาคผนวก ง
รูปแสดงผลการทดลอง (เพิ่มเติม)

1. รูปแสดงผลการทดลองของซีลขนาดเก่า

1.1 การทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.0 บาร์



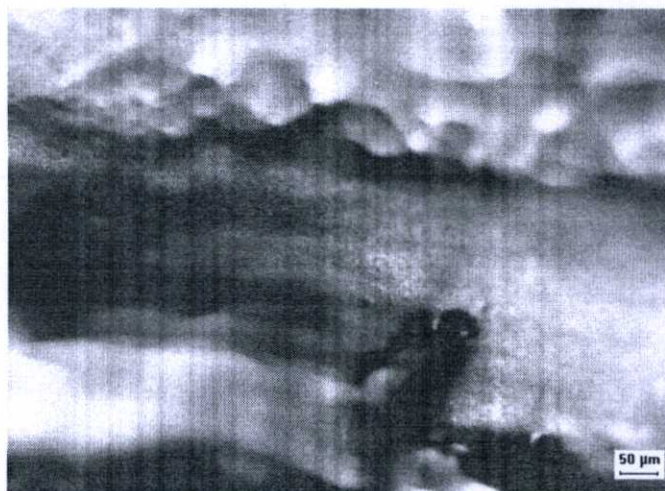
รูปที่ 1.1 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



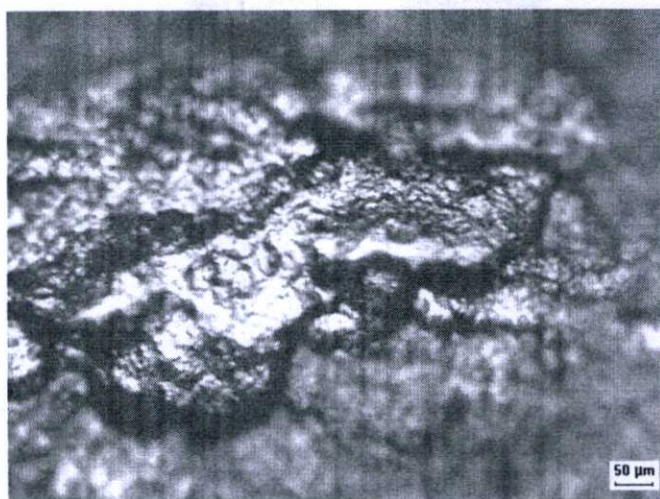
รูปที่ 1.2 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



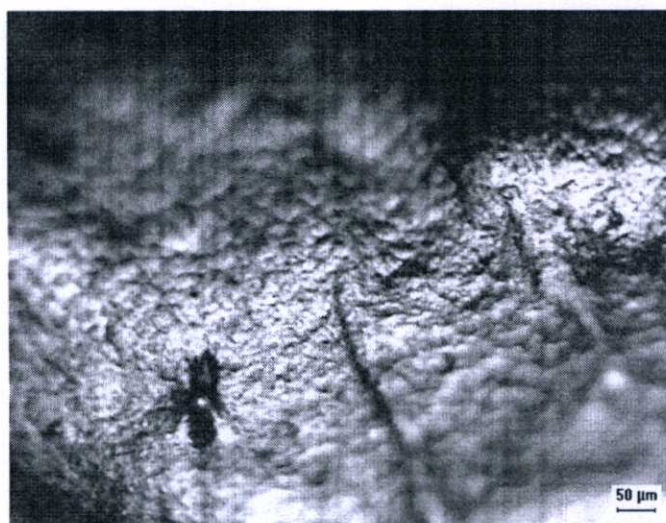
รูปที่ 1.3 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 1.4 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 1.5 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 1.6 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 1.7 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2

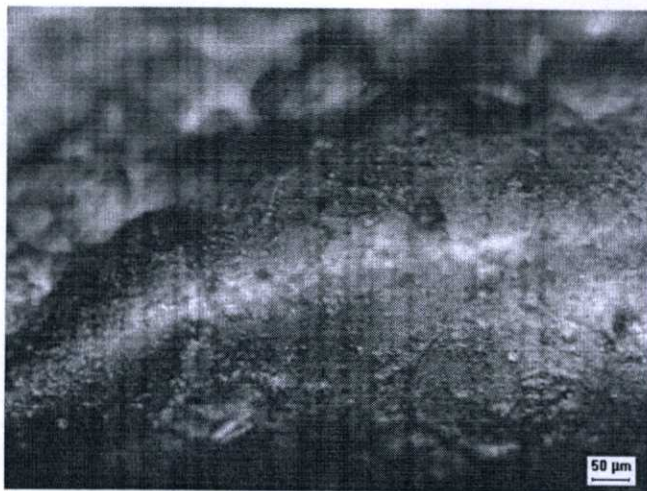


รูปที่ 1.8 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3

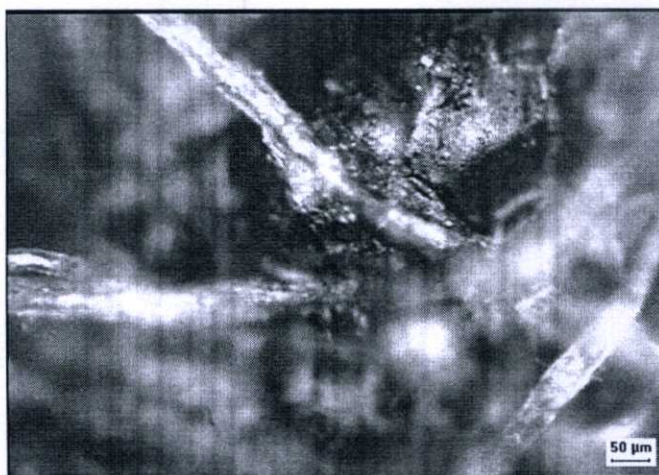
1.2 การทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.5 บาร์



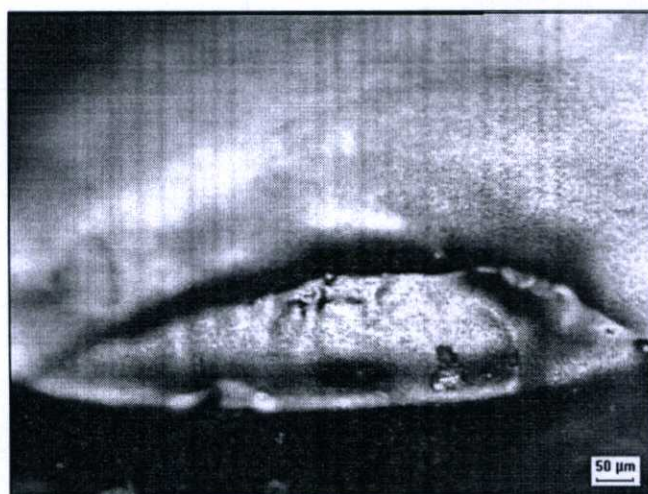
รูปที่ 1.9 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



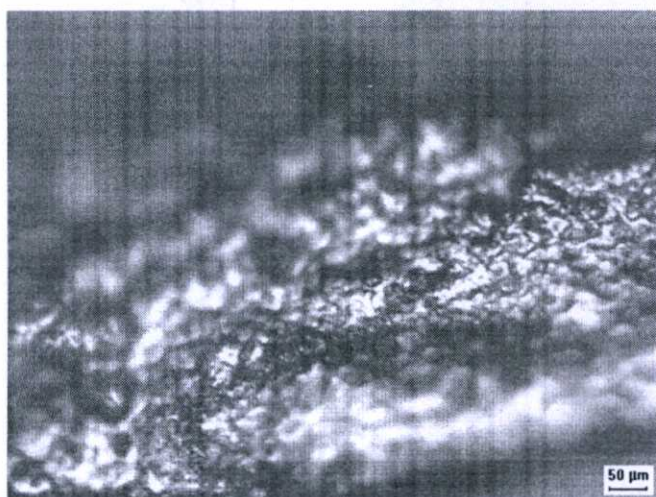
รูปที่ 1.10 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



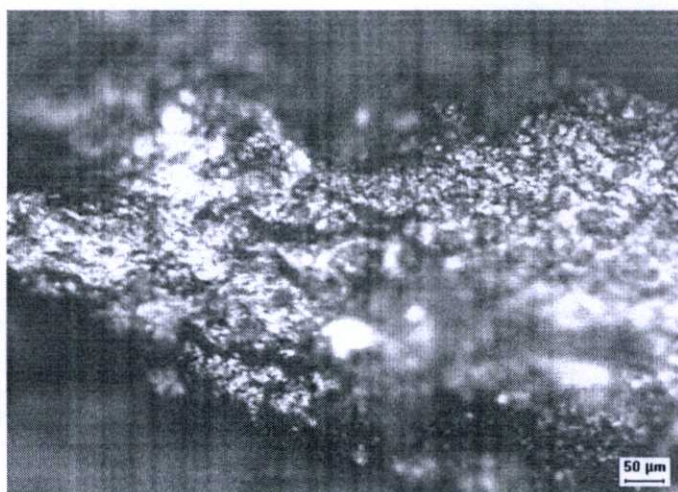
รูปที่ 1.11 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 1.12 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3

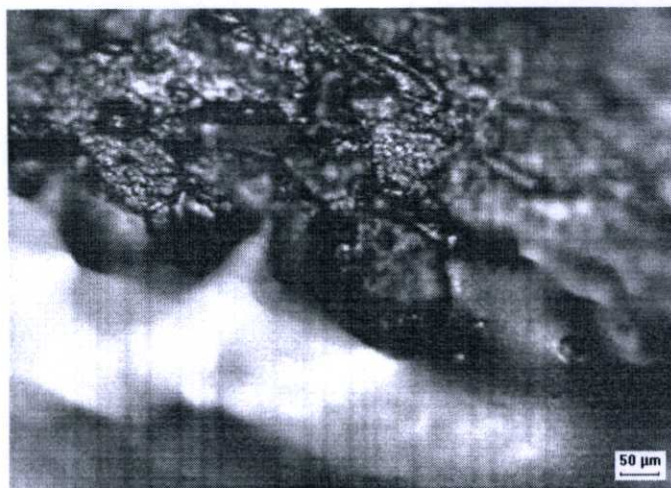


รูปที่ 1.13 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2

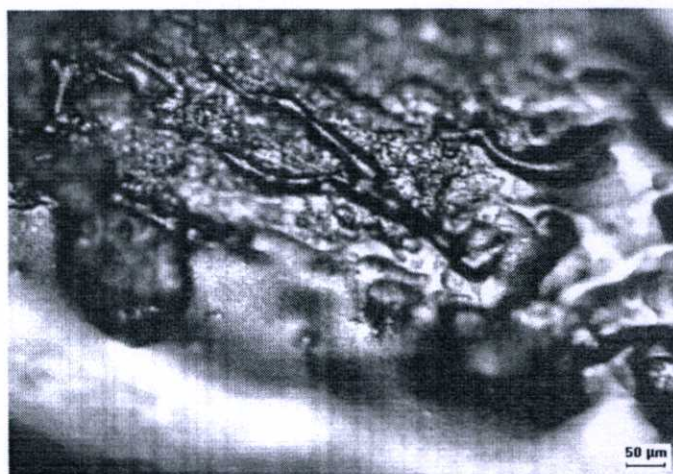


รูปที่ 1.14 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3

1.3 การทดลองที่ความดันเท่ากับ 4.0 บาร์



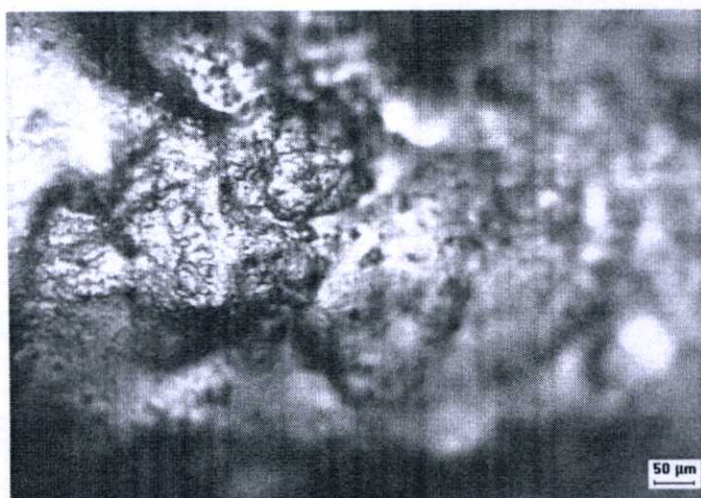
รูปที่ 1.15 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 1.16 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 1.17 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 1.18 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



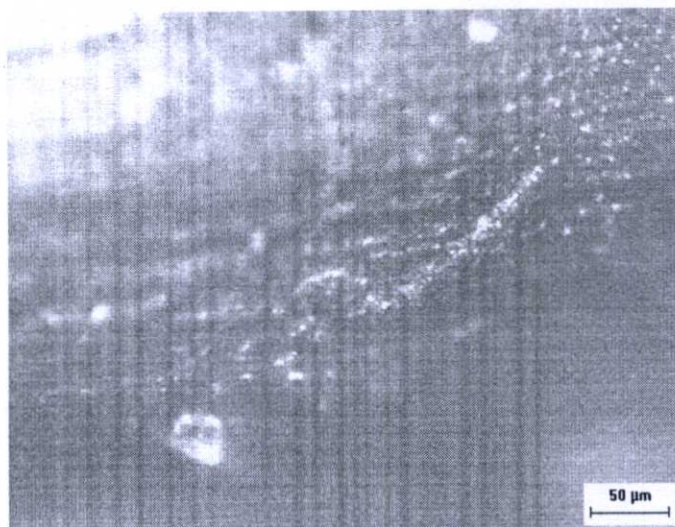
รูปที่ 1.19 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



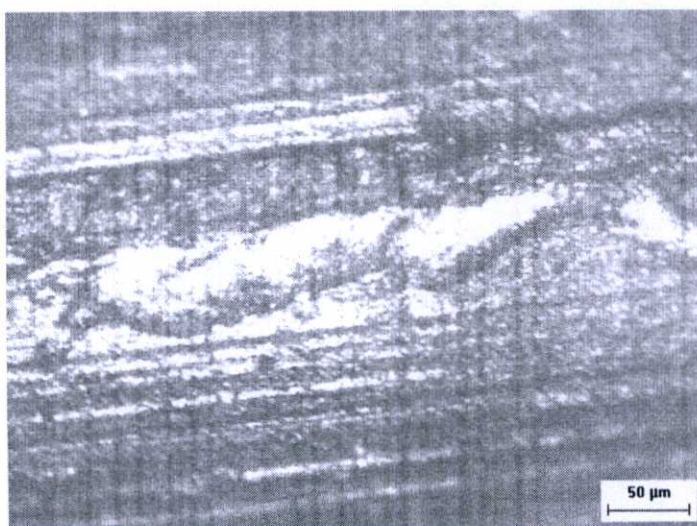
รูปที่ 1.20 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3

2. รูปแสดงผลการทดลองของซีลขนาดใหญ่

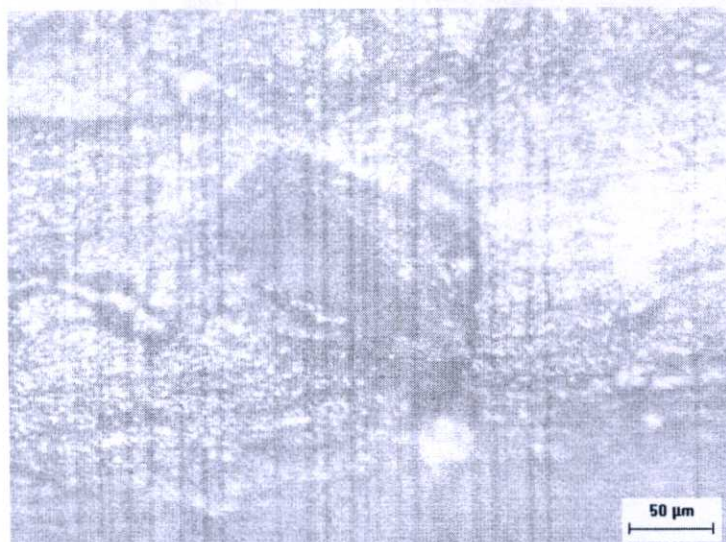
2.1 การทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.0 บาร์



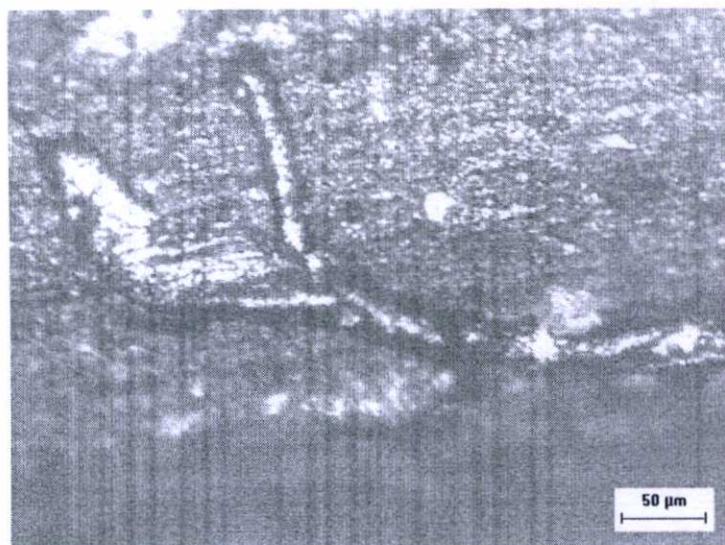
รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



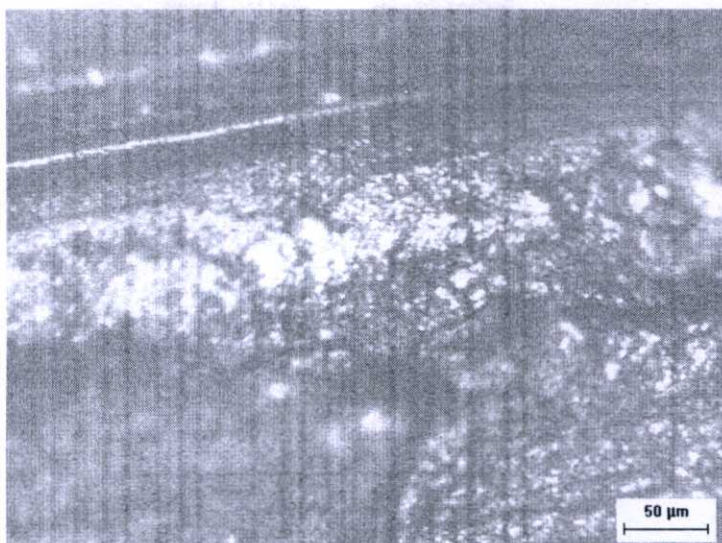
รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



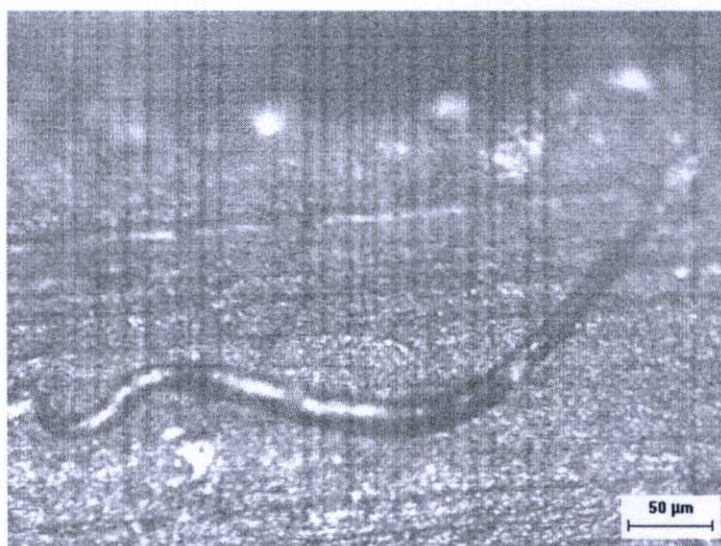
รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



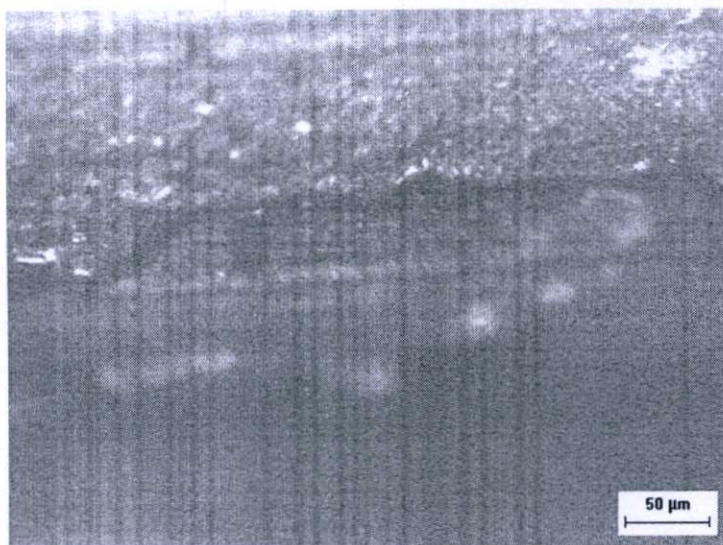
รูปที่ 2.4 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



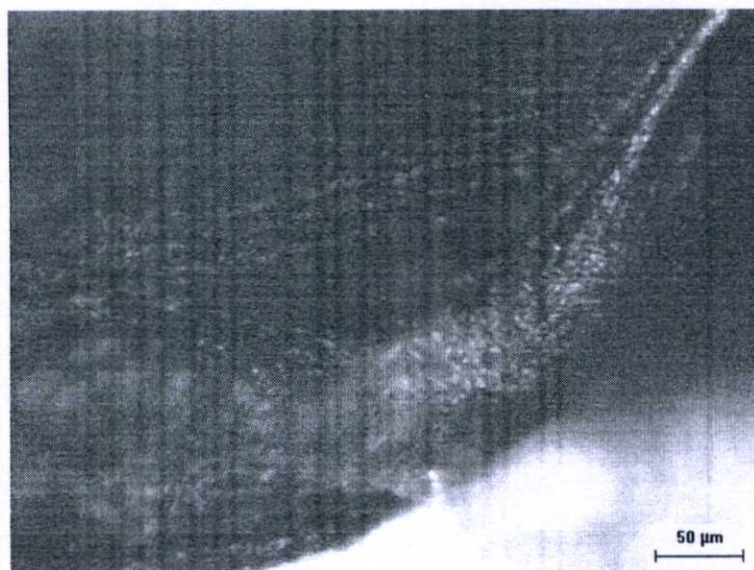
รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



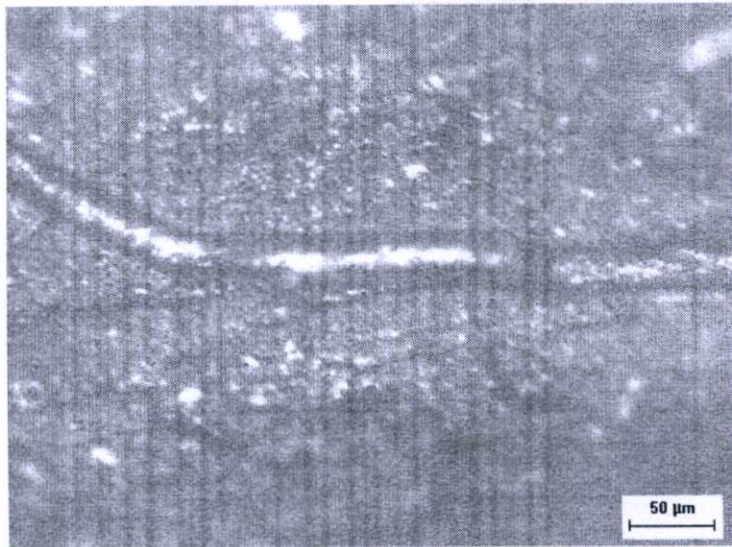
รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



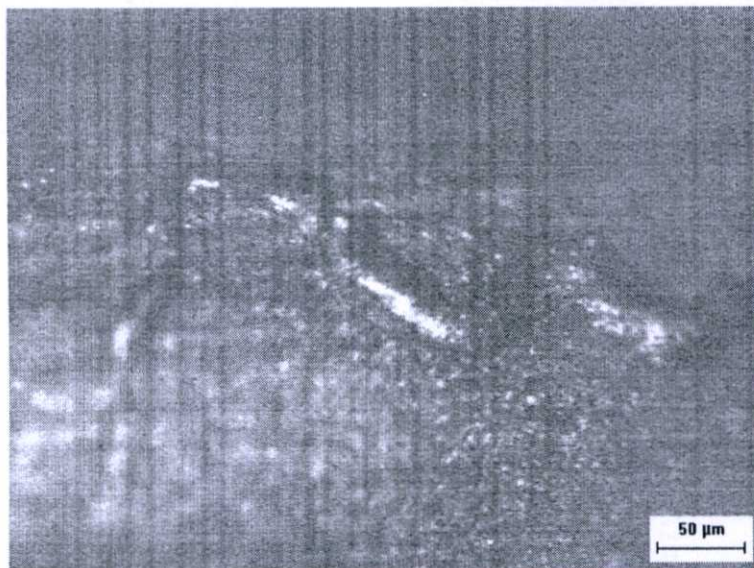
รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3

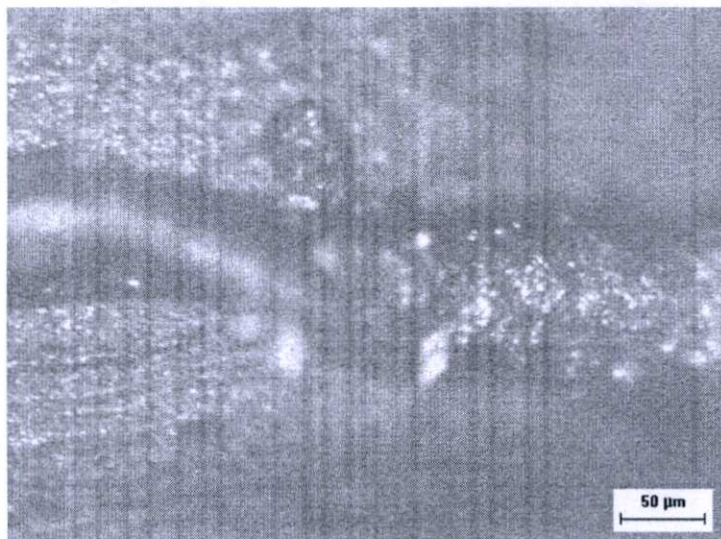


รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2

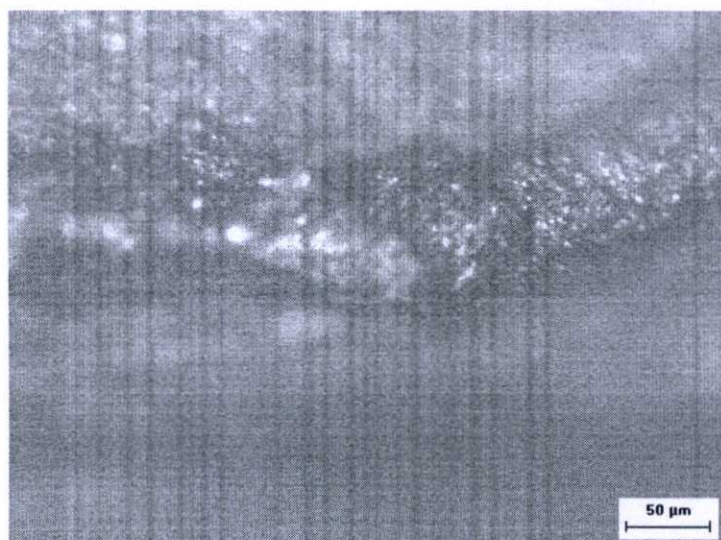


รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3

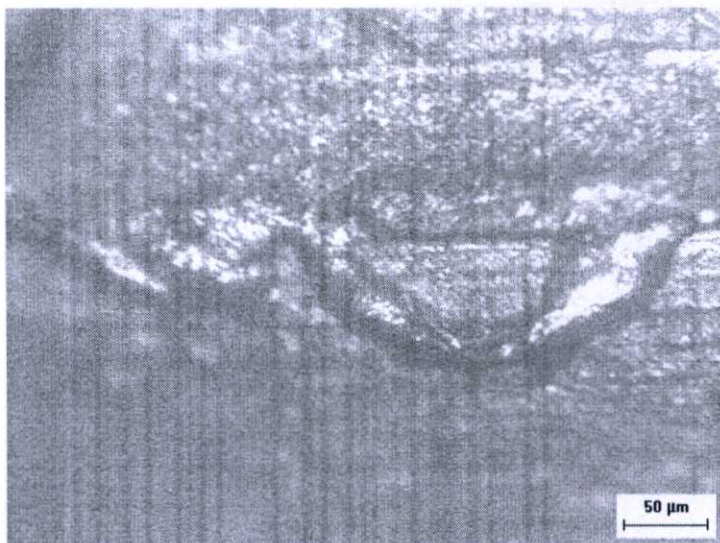
2.2 การทดลองที่ความดันเท่ากับ 3.5 บาร์



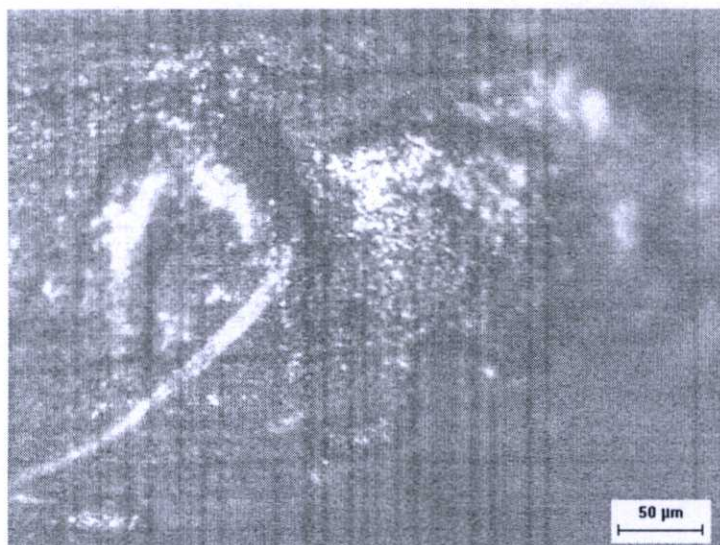
รูปที่ 2.11 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



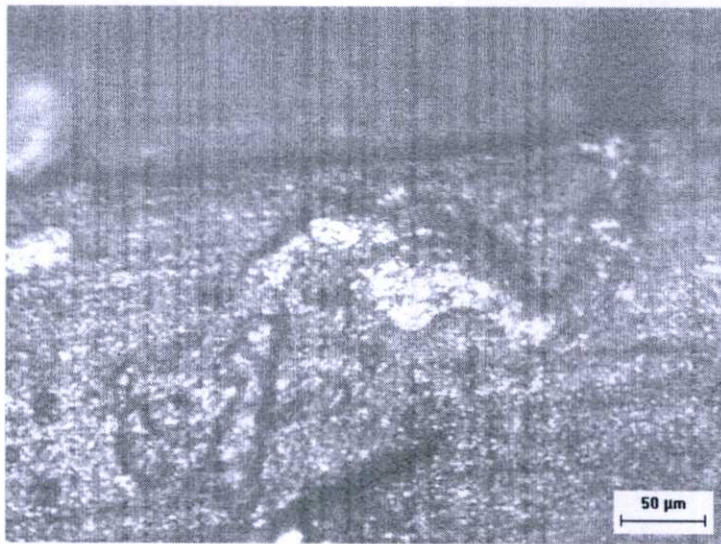
รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



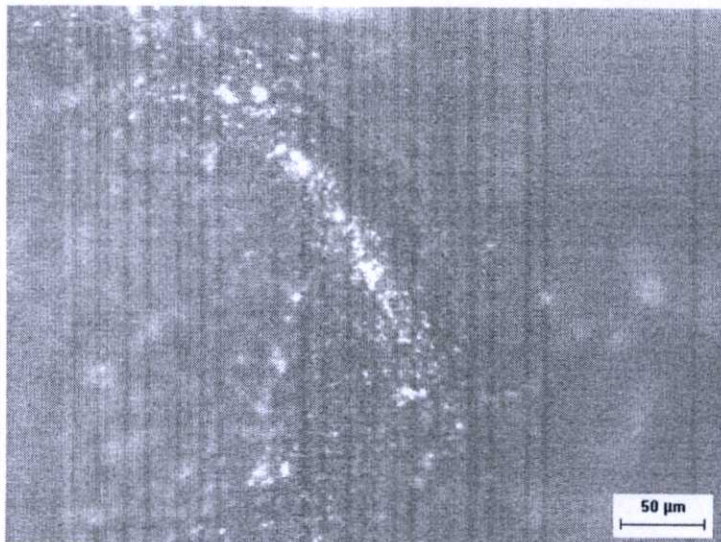
รูปที่ 2.13 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



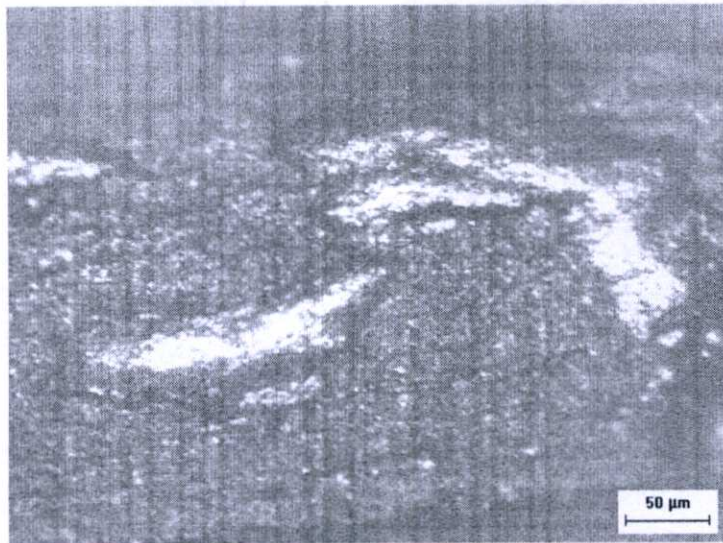
รูปที่ 2.14 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



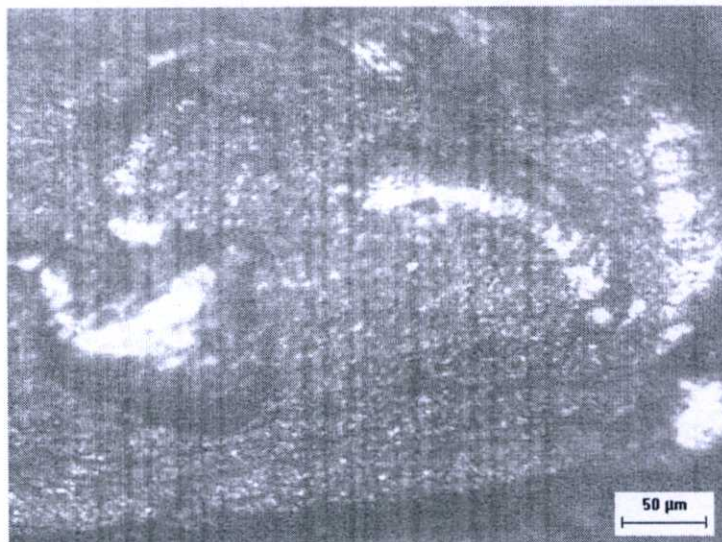
รูปที่ 2.15 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 2.16 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



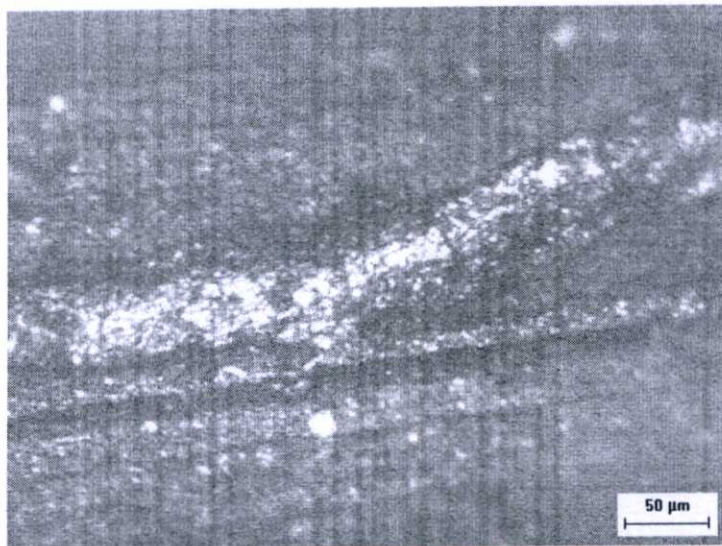
รูปที่ 2.17 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 2.18 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3

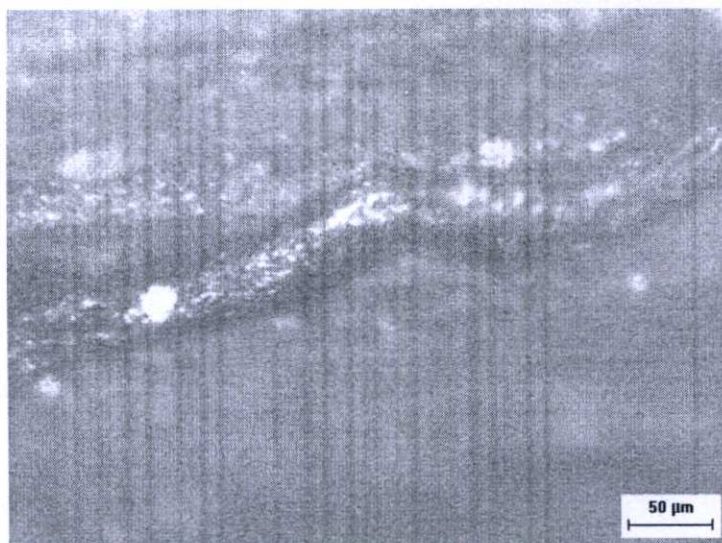


รูปที่ 2.19 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2

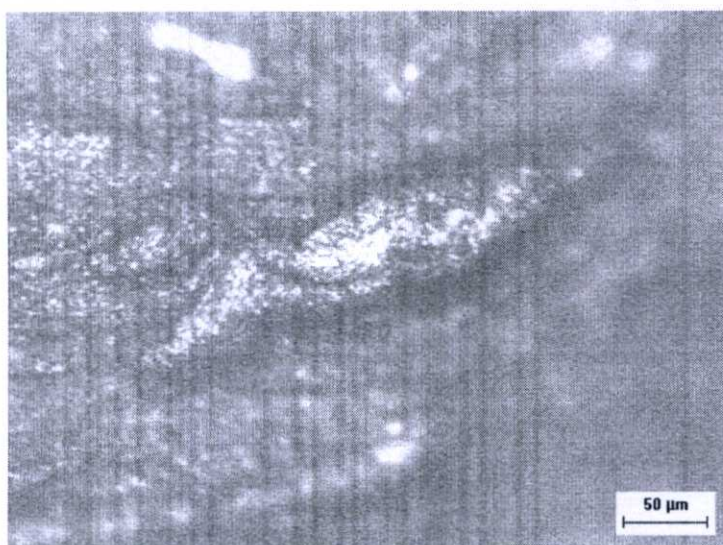


รูปที่ 2.20 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 3.5 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3

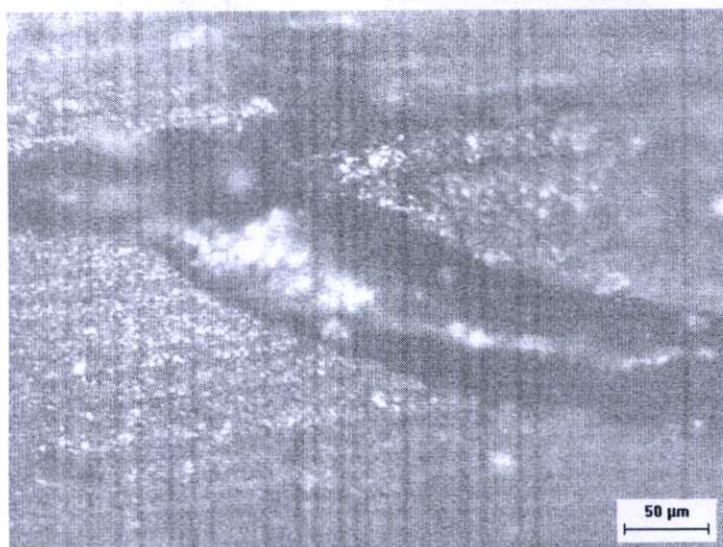
2.3 การทดลองที่ความดันเท่ากับ 4.0 บาร์



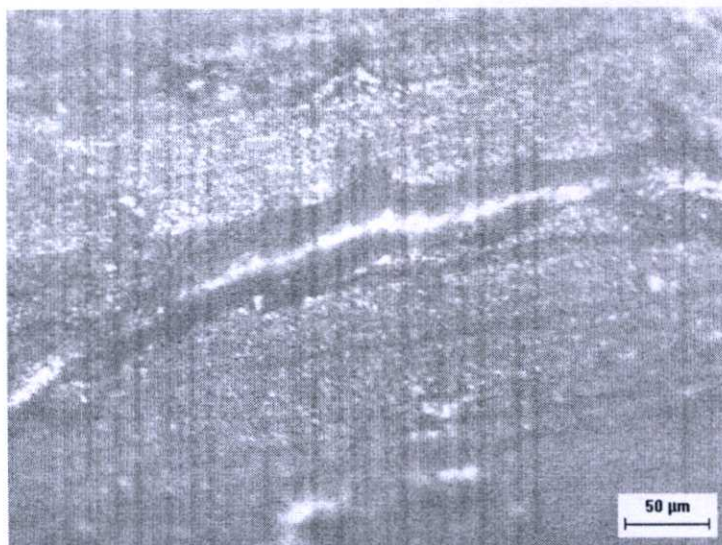
รูปที่ 2.21 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



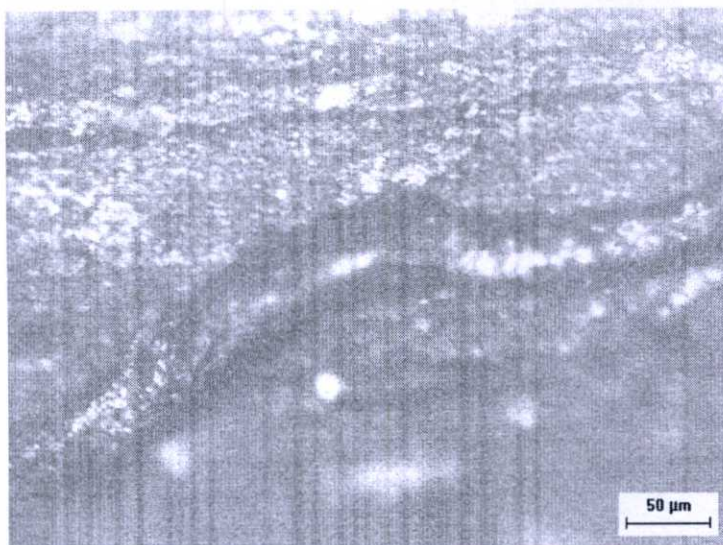
รูปที่ 2.22 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 2,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



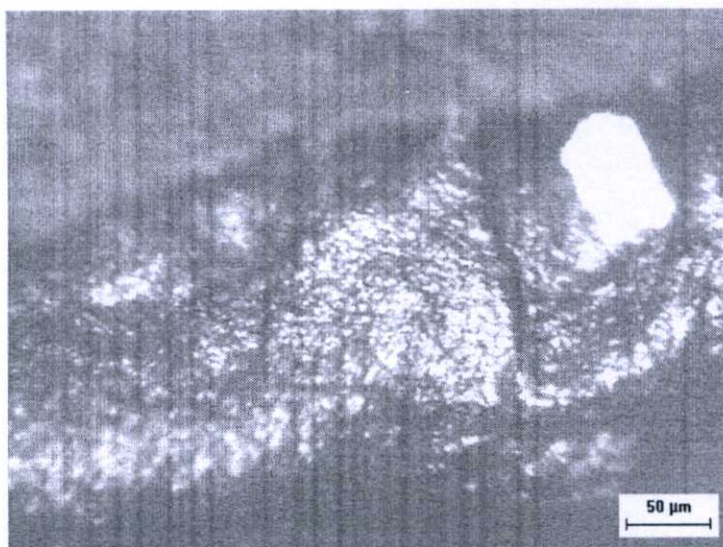
รูปที่ 2.23 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



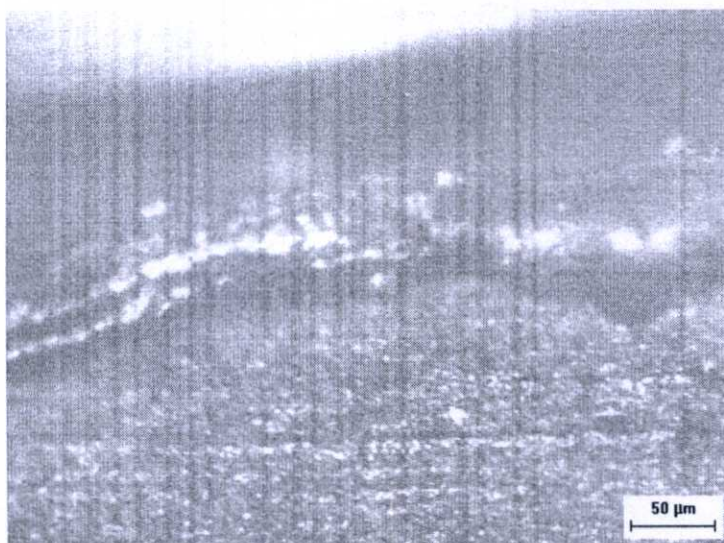
รูปที่ 2.24 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 4,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 2.25 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



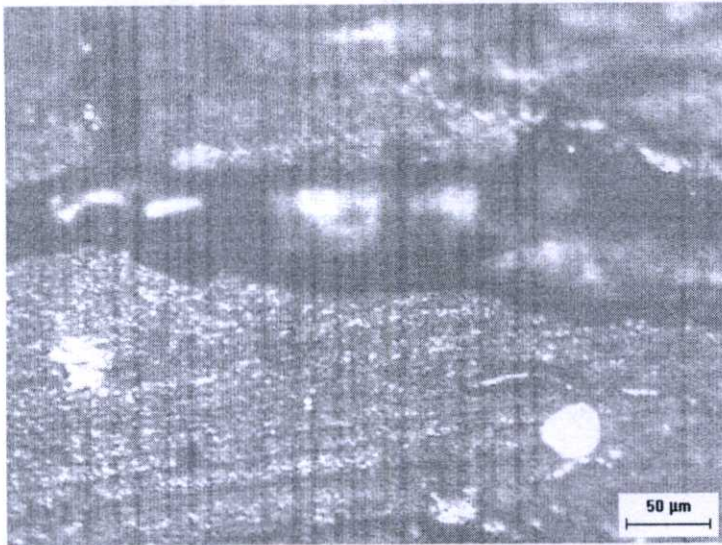
รูปที่ 2.26 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 6,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



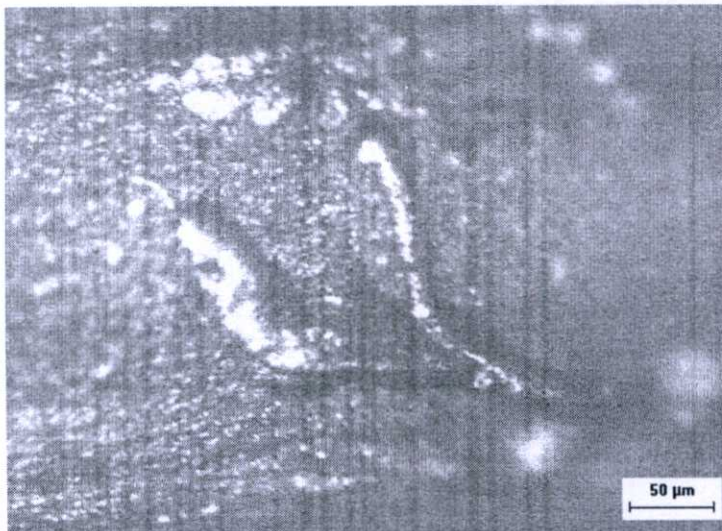
รูปที่ 2.27 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 2.28 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 8,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ 2.29 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ 2.30 แสดงการทำงานที่ความดันใช้งาน 4.0 บาร์ ที่จำนวนรอบ 10,000 รอบ
ตำแหน่งที่ 3

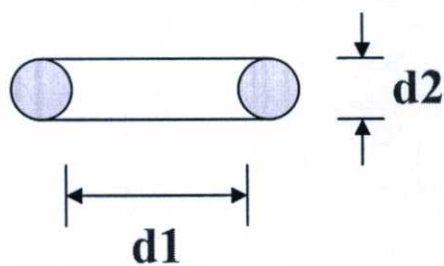
ภาคผนวก จ

ตารางแสดงขนาดของซีลที่ใช้ในชุดจับยึดหัวอ่าน

ตารางแสดงขนาดของซีลที่ใช้ในชุดจับยึดหัวอ่าน

ตำแหน่งที่	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
1	0.110*0.020	0.090*0.025
2	0.090*0.025	0.090*0.025
3	0.090*0.025	0.090*0.025
4	0.284*0.028	0.284*0.028
5	0.284*0.028	0.284*0.028

หน่วย : นิ้ว



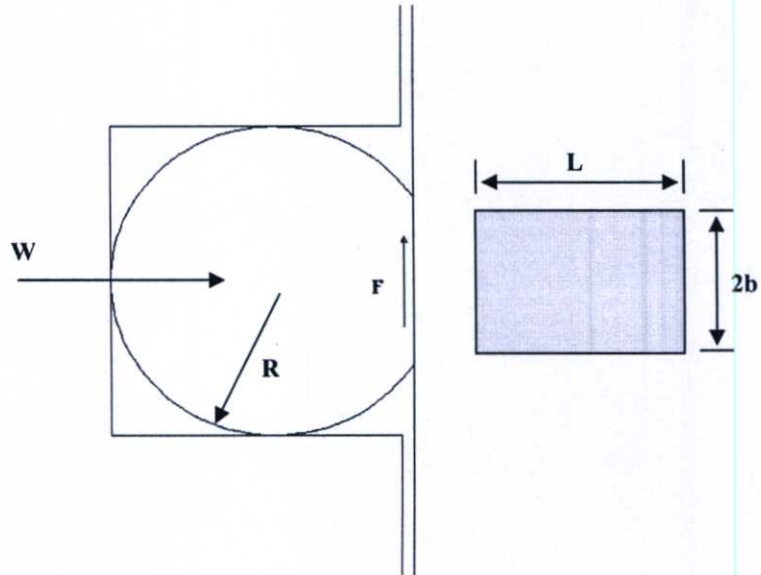
(d1*d2)

แสดงวิธีการกำหนดขนาดของซีล

ภาคผนวก ฉ
แสดงการเปรียบเทียบพื้นที่รับแรงของซิด

แสดงการเปรียบเทียบพื้นที่รับแรงของซีล

การหาพื้นที่รับแรงเฉือนของซีลจะอาศัย Hertzian contact [27] ช่วยในการหาพื้นที่
รายละเอียดแสดงดังรูปด้านล่าง



รูปแสดงพื้นที่ในการรับแรงของซีล

จากหลักการของ Hertzian contact จะได้ความกว้างในการรับแรงเป็น

$$b = \left| \frac{8WR(1-\nu^2)}{\pi LE} \right|^{1/2} \quad (1)$$

ดังนั้น พื้นที่รับแรงเฉือนของซีล หาได้จาก

$$a = 2b * L \quad (2)$$

สำหรับพื้นที่รับแรงเฉือนของซีลขนาดเก่า จะมีค่า

$$a_o = \left| \frac{32WL^2 R_o(1-\nu^2)}{\pi E} \right|^{1/2} \quad (3)$$

โดยที่ $R_o = 0.254 \text{ mm}$.

$$a_o = \left| \frac{8.128WL^2(1-\nu^2)}{\pi E} \right|^{1/2} \quad (4)$$

สำหรับพื้นที่รับแรงเฉือนของซีตขนาดใหม่ จะมีค่า

$$a_N = \left| \frac{32WL^2R_N(1-\nu^2)}{\pi E} \right|^{1/2} \quad (5)$$

โดยที่ $R_N = 0.3175$ mm.

$$a_N = \left| \frac{10.16WL^2(1-\nu^2)}{\pi E} \right|^{1/2} \quad (6)$$

เพราะฉะนั้น จะพบว่า

$$a_N > a_o \quad (7)$$

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ – นามสกุล นาย สุทิน พลบูรณ์
วัน เดือน ปีเกิด 11 มิถุนายน 2521
ที่อยู่ 131 ม. 2 ต. วังหลวง อ. เฝ้าไร่ จ. หนองคาย 43120
โทร. 084-9038993, E-mail: suthin_27@hotmail.com
- ประวัติการศึกษา
พ.ศ. 2540 - 2543 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549 - 2551 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ประสบการณ์การทำงาน
พ.ศ. 2544 – 2545 ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่จัดซื้อ
บริษัท สยามกราฟท์อุตสาหกรรม จำกัด (บางซื่อ, กทม.)
พ.ศ. 2546 – 2548 ตำแหน่ง วิศวกรวางแผนซ่อมบำรุง
บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษกราฟท์ไทย จำกัด (กาญจนบุรี)
พ.ศ. 2548 ตำแหน่ง วิศวกรซ่อมบำรุง
บริษัท ซีเกทเทคโนโลยี จำกัด (สมุทรปราการ)
- ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์
การปรับปรุงอายุการใช้งานของซีลสำหรับชุดจับยึดหัวอ่าน