Thai Intertrade Lubricant

The Best Quality & Service

ความรู้พื้นฐานการหล่อลื่น

Basic Lubrication

Tribology
ไทรโบโลยีในงานบำรุงรักษา

ไทรโบโลยี (Tribology)

ไทรโบโลยีเป็นสาขาวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นของการสัมผัสกันระหว่าง 2 พื้นผิวสัมผัส ที่มีปฏิกิริยาต่อกัน และมีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ต่อกัน โดยหลักการเมื่อผิวสัมผัสมี การเคลื่อนที่ที่หลากหลาย เช่น การลื่นไถล การกลิ้งตัว การเคลื่อนที่แบบไป ๆ กลับ ๆ เป็นต้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาในรูปแบบพลังงานทางกลและทางเคมี เมื่อเกิดความเร็วสัมพัทธ์จะทำให้มี การเสียดทานขึ้น เมื่อเกิดการเสียดทานจะก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้น จึงต้องมีการป้องกันโดยการใช้การหล่อลื่นหรือเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการใช้งานเพื่อป้องกัน หรือลดการเสียดทานและการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับชิ้นงาน ซึ่งปัญหาต่าง ๆ ของการสึกหรอมี ผลทำให้เกิดการสูญเสียเงินตราจำนวนมากในงานอุตสาหกรรม

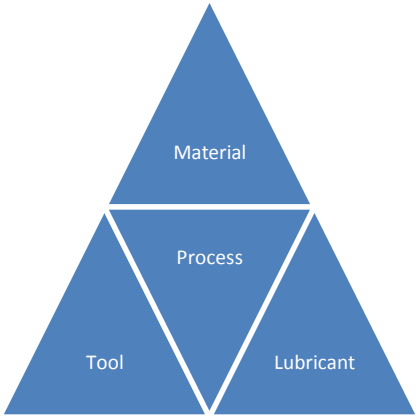
Tribology

ไทรโบโลยีในงานบำรุงรักษา

ดังนั้นความรู้ทางด้านไทรโบโลยี จึงมีความสำคัญต่องานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อมาปรับปรุงและพัฒนา ชิ้นส่วน เครื่องมือ และ อุปกรณ์ในงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพสูงสุด มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น มีการซ่อมบำรุงน้อยลง และลดต้นทุนค่าใช้จ่ายต่างๆ

- ดังนั้นวิชาไทรโบโลยีจะมี 3 องค์ประกอบ ที่สำคัญและมีความสัมพันธ์ต่อกันและกัน คือ

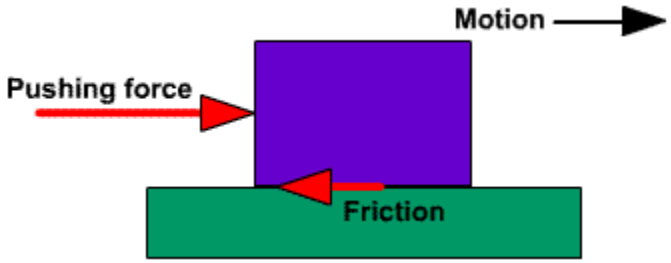
1. **การเสียดทาน (Friction)**
2. **การสึกหรอ (Wear)**
3. **และการหล่อลื่น (Lubrication)**



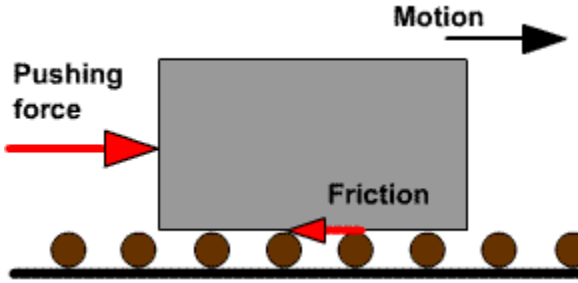
1. แรงเสียดทาน (Friction)

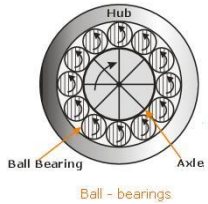
- แรงเสียดทานเป็นแรงต้านทานการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างผิว 2 ผิว ลักษณะของการเคลื่อนที่อาจจะเป็นการเลื่อนไถล (Sliding) หรือการกลิ้ง (Rolling) ของผิวหนึ่งไปบนอีกผิวหนึ่งซึ่งอาจจะสัมผัสกันโดยตรง หรือมีของเหลว หรือมีฟิล์มคั่นอยู่ระหว่างผิวที่มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์

<u>ความเสียดทานแบบไถล</u> (**Sliding Friction**)



<u>ความเสียดทานแบบกลิ้ง</u> (**Rolling Friction**)





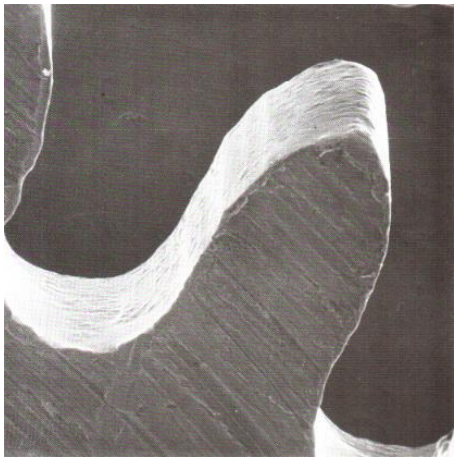
1.1 การเสียดทานแบบลื่นไถล **(Sliding Friction)** คือ การเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการ เคลื่อนที่แบบลื่นไถลระหว่างผิวสัมผัสที่ไม่มีการกลิ้ง

1.2 การเสียดทานแบบกลิ้ง **(Rolling Friction)** เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่แบบกลิ้ง ระหว่างชิ้นงานคู่สัมผัส การเสียดทานแบบนี้คือ การเสียดทานที่เกิดในรองลื่นแบบเม็ดลูกกลิ้ง

ปัญหาสำคัญของความเสียดทาน คือ การที่มีความเสียดทานระหว่างผิววัสดุจะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของระบบ เพื่อเอาชนะแรงเสียดทาน หรือต้องใส่พลังงานให้แก่ระบบมากขึ้นเพื่อให้ระบบทำงานได้

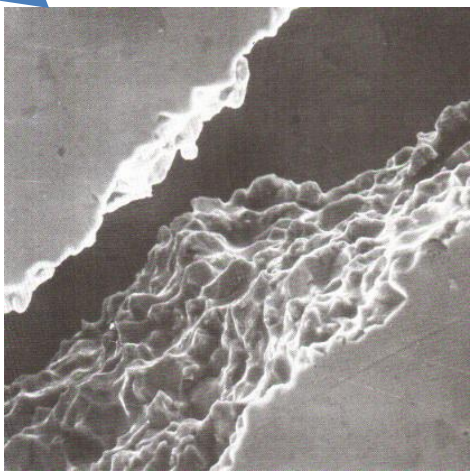
1.1 ความเสียดทานแบบไถล (Sliding Friction)

เฟืองเกียร์ นาฬิกาข้อมือ



ขยาย 150 เท่า

กล้องอีเลคตรอนไมโครกราฟ

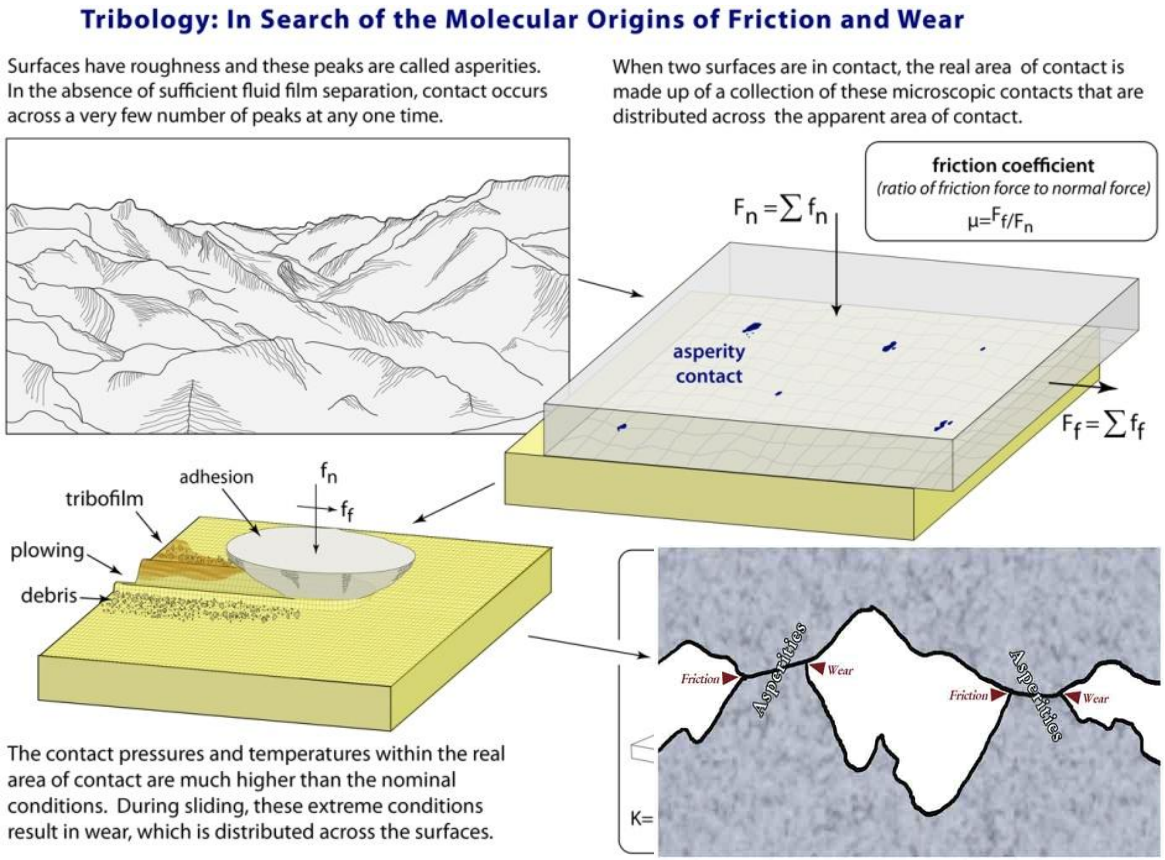


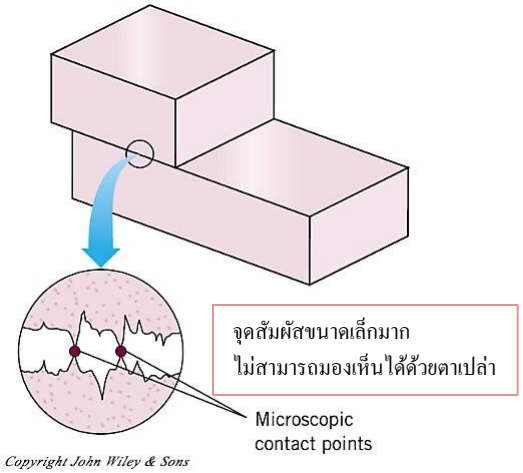
ขยาย 350 เท่า

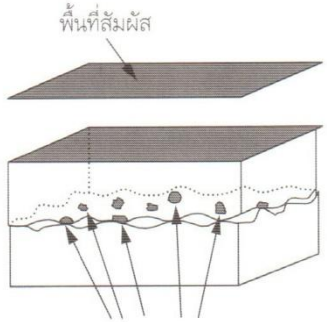
กล้องอีเลคตรอนไมโครกราฟ

เป็นที่ทราบกันดีว่าพื้นผิวทางวิศวกรรมไม่มีพื้นผิวใดที่เรียบจริง ถึงแม้จะมองเห็นว่าเรียบด้วยตาเปล่า แต่เมื่อมองผ่านกล้องที่มีกำลังขยายสูง จะพบว่ามีลักษณะที่เป็นคลื่นขรุขระอยู่

กลไกพื้นฐานของการเกิดความเสียดทานแบบไถล



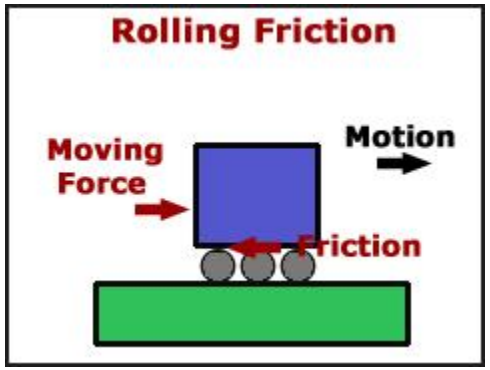


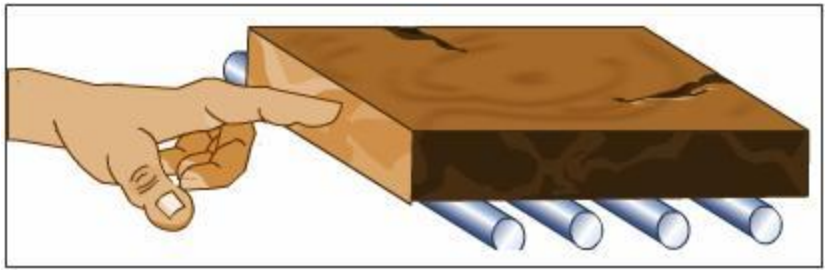


พื้นที่สัมผัสจริงของผิวสัมผัสทั้งหมด

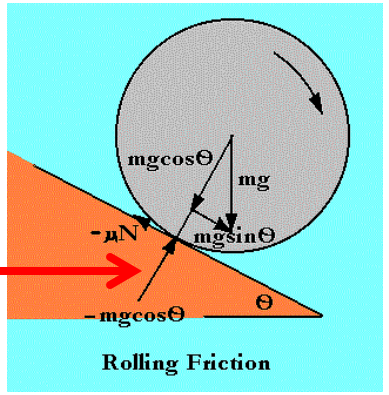
บริเวณที่สัมผัสกันของผิววัสดุจะเกิดความเค้นสูงที่จุดสัมผัสระหว่าง 2 ผิว เนื่องจากเป็นบริเวณเล็ก ๆ จึงเกิดเป็นการเชื่อมติดกันและจะถูกเฉือนให้แยกออกจากกันเมื่อเกิดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์

1.2. ความเสียดทานแบบกลิ้ง (Rolling Friction)



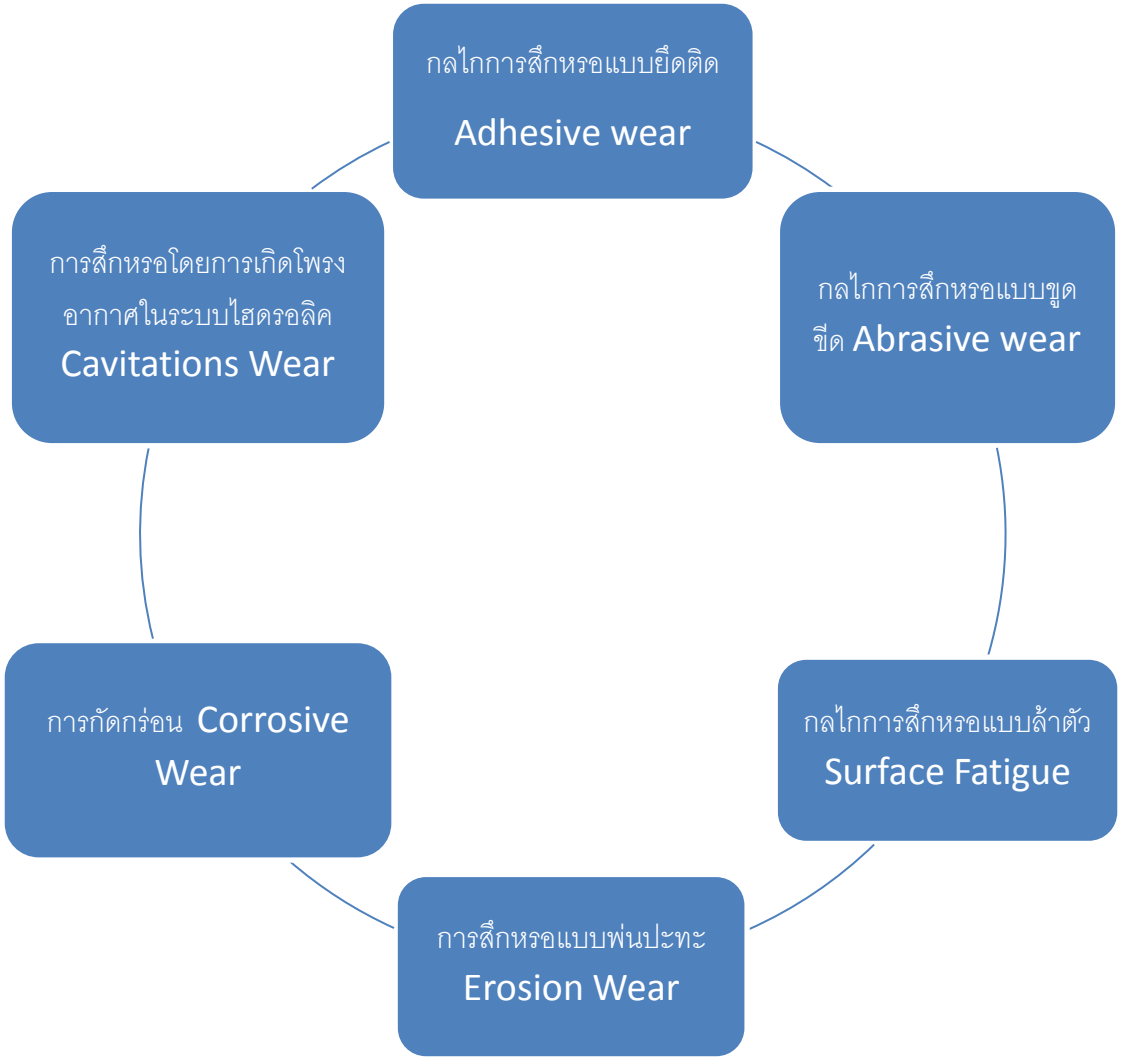


การเคลื่อนที่ใน
ทิศทางตั้งฉากกับผิว



เป็นการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างสองพื้นผิว การเคลื่อนที่แบบกลิ้ง (Roll) เกิดได้ง่ายกว่า คือ ต้องการพลังงานในการเคลื่อนที่ต่ำกว่าการเลื่อนไถล (Slide) แต่มักจะเกิดขึ้นเฉพาะในกรณีที่วัตถุหนึ่งมีลักษณะกลม หรือเกือบกลมเท่านั้น กลไกของการเคลื่อนที่แบบกลิ้งจะต้องเอาชนะแรงยึดเหนี่ยว (adhesion) และแรงในการเปลี่ยนรูป (deformation) เหมือนกับการเคลื่อนที่แบบไถล แต่มีความแตกต่างที่ทิศทางในการเข้าหา (approach) และการเคลื่อนจาก (Separation) ของบริเวณสัมผัสซึ่งจะเกิดใน<u>ทิศทางตั้งฉากกับผิว</u> ไม่ได้เกิดใน<u>ทิศทางขนานเหมือนการไถล</u>

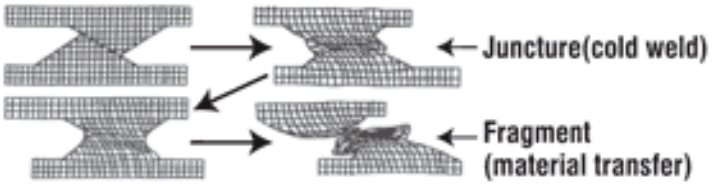
2. กลไกการสึกหรอ (Different types of wear)

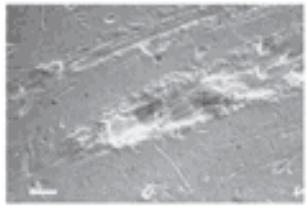


การสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear)

Adhesive Wear

Scuffing occurs on both sides of the pitch line. Changes tooth profile. Drives load density towards pitchline. Loss of involute profile increases gear noise.





Machine surface damaged by adhesive wear

Adhesive wear occurs in highly-loaded, poorly lubricated slidingmachine contacts.

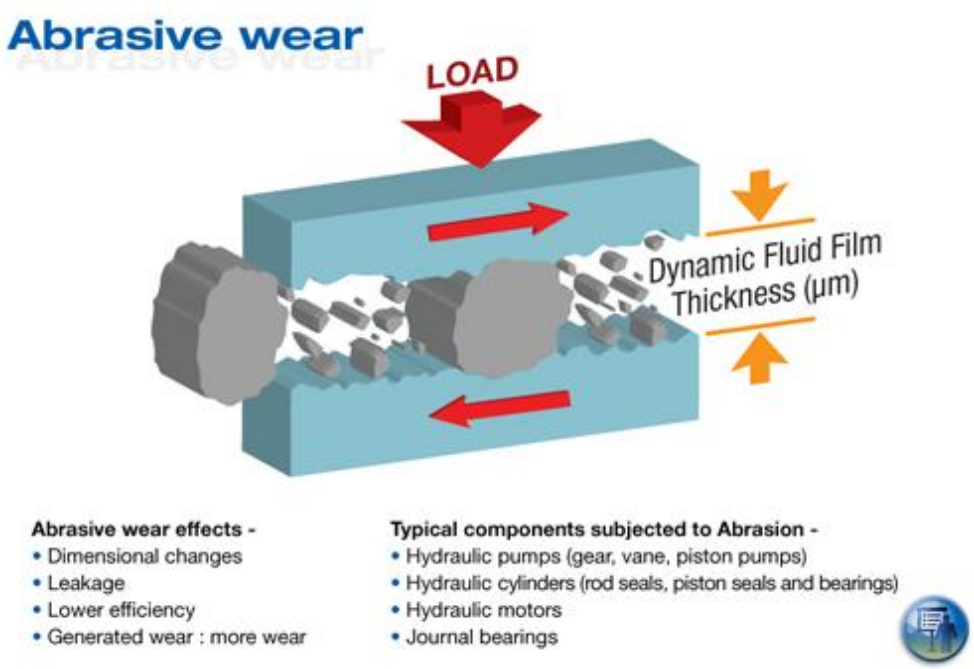
Machine/components affectedby adhesive wear:

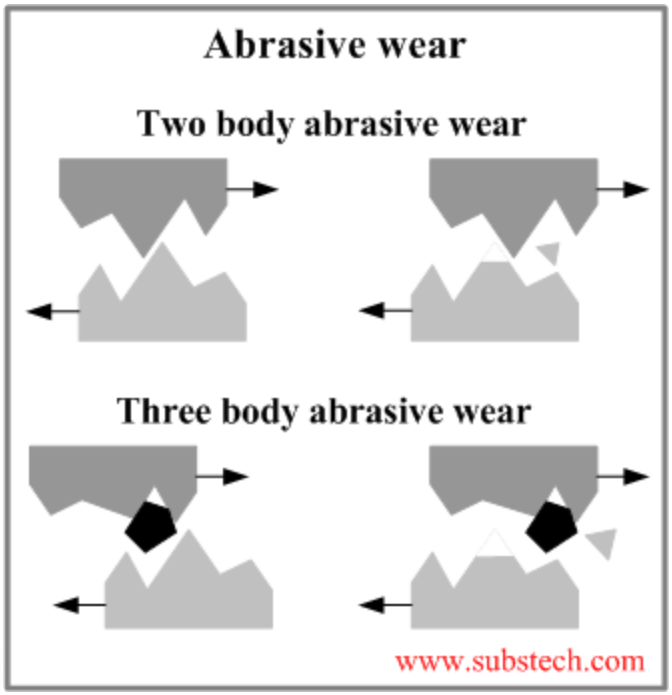
- Pistons/cylinders
- Gear contacts
- Cams and followers
- Swash plates
- Hypoid gears
- Rolling element bearings

Influencing Factors:

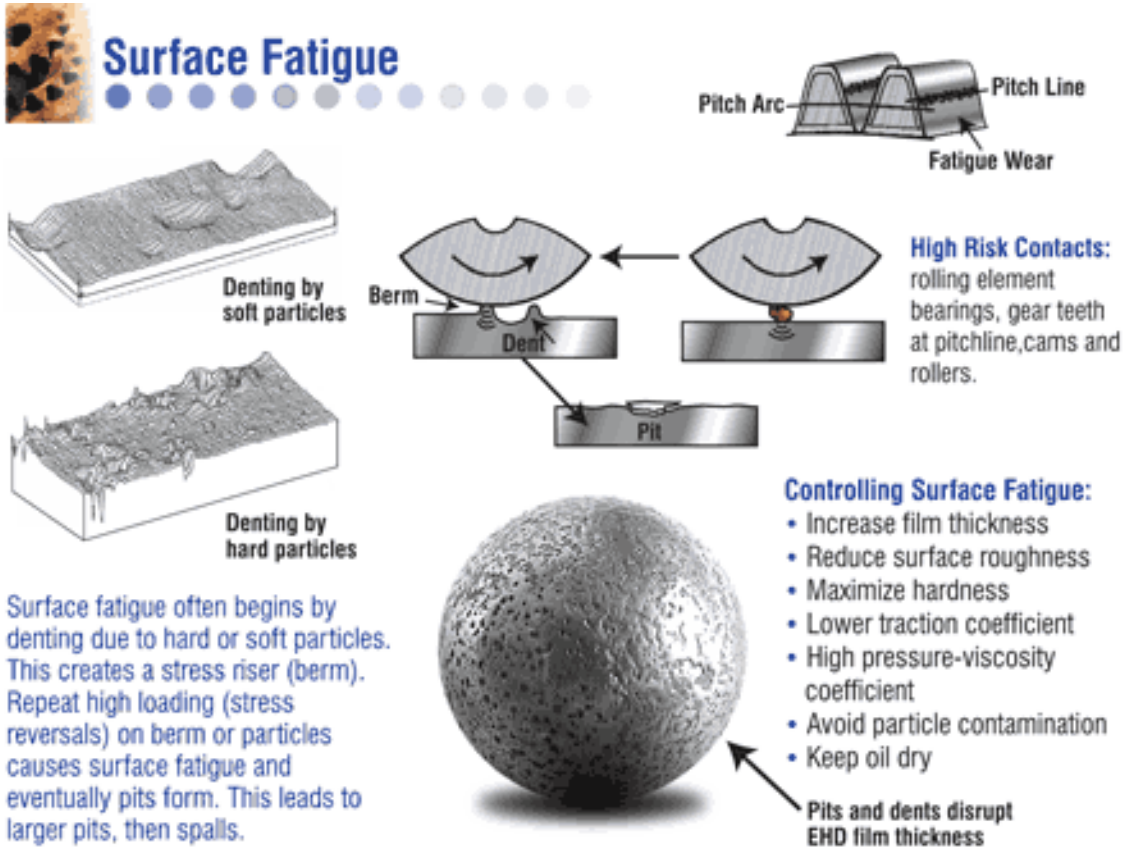
- Similarity of mating surfaces
- Antiscuff, EP, AW additives
- Film thickness (load, viscosity, speed)
- Gear tooth size
- Surface roughness

การสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive Wear)

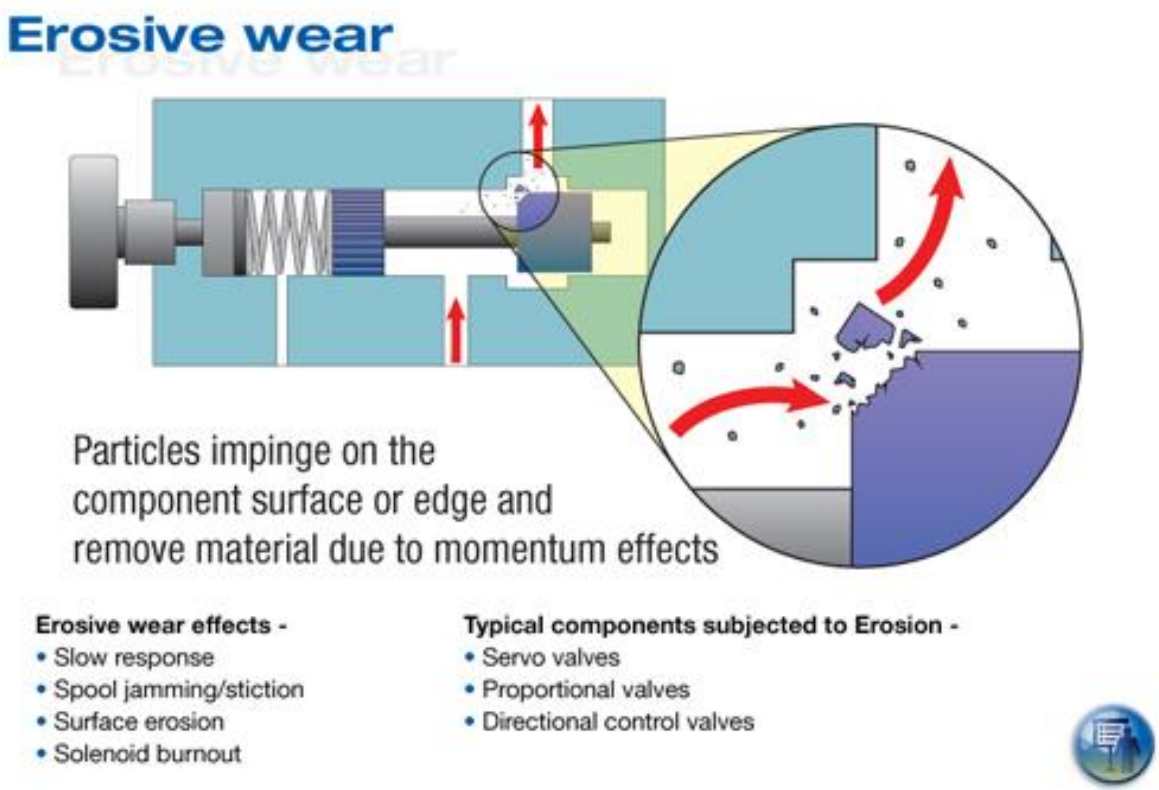




การล้าตัวที่ผิววัสดุ (Surface Fatigue)

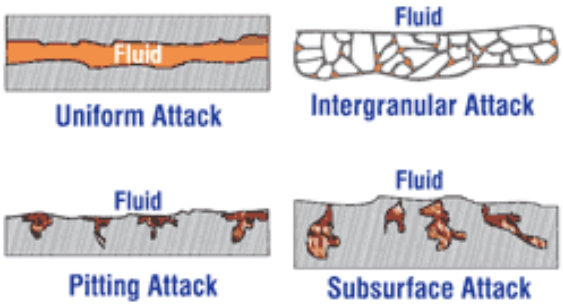


การสึกหรอแบบพ่นปะทะ (Erosive Wear)



การกัดกร่อน (Corrosive Wear)

Corrosive Wear

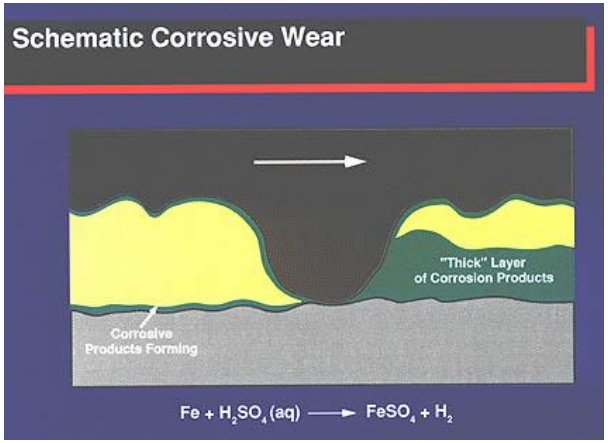


Corrosion wear is surface damage resulting from exposure to a reactive environment (atmosphere, moisture accumulation, bacteria, acids, electrolytes, process chemicals or lubricant by-products).

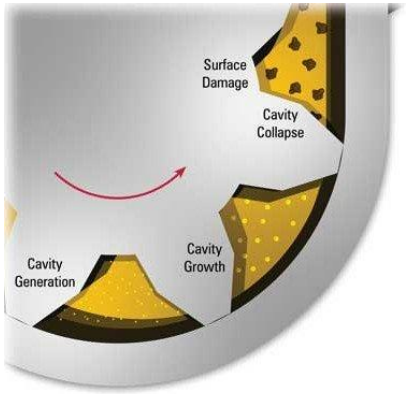
Corrosion rate (rust) typically doubles for every 10°C (18°F) increase in temperature.

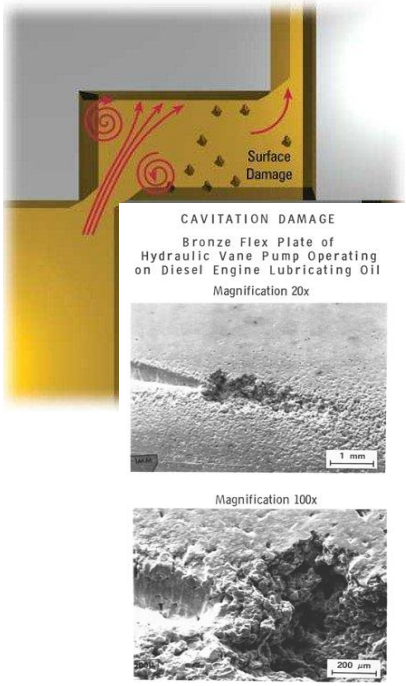
Techniques to Reduce Corrosion:

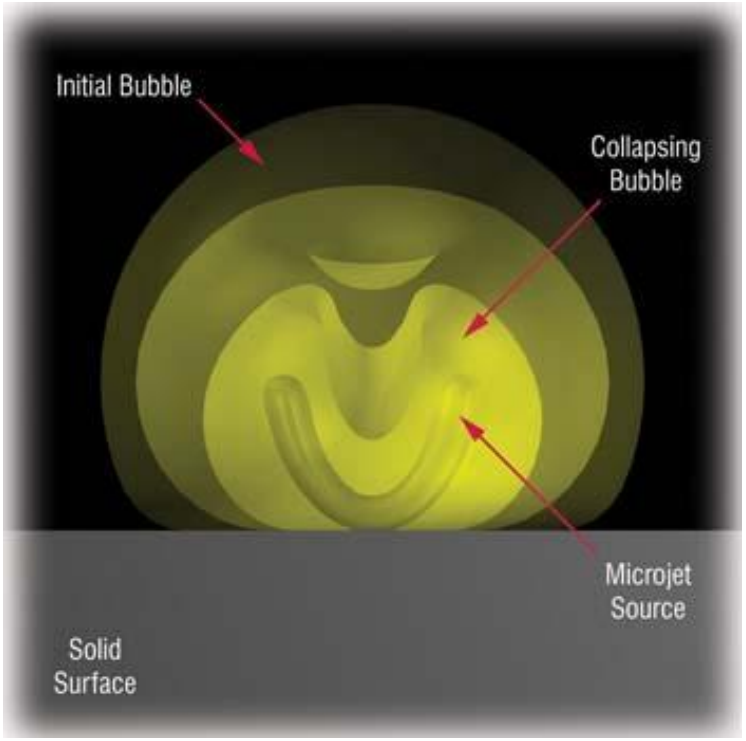
- Corrosion-resistant Metallurgy
- Fluid Contamination Control (heat, moisture, water, acids, bacteria)
- Protective Barrier (coatings, surface treatments, etc.)
- Corrosion-controlling Additives (rust inhibitors, metal deactivators, overbase additive, etc.)

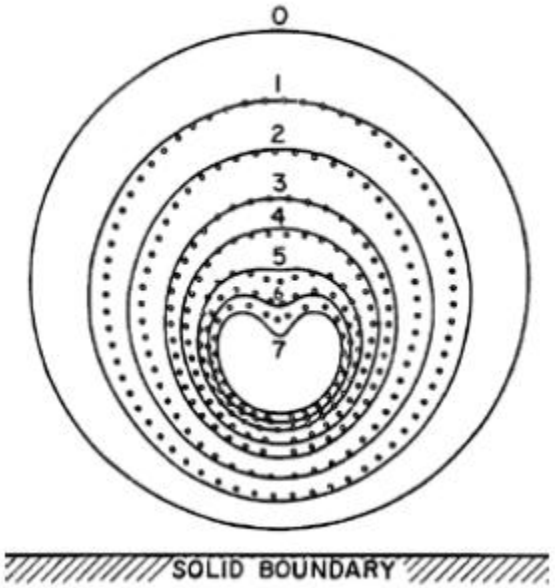


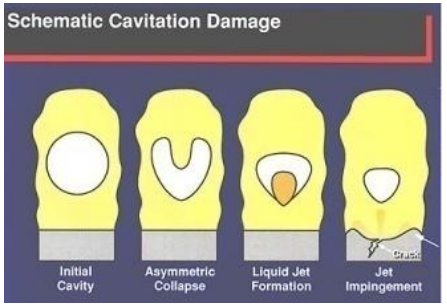
การสึกหรอแบบโพรงอากาศในระบบไฮดรอลิก (cavitation Wear)



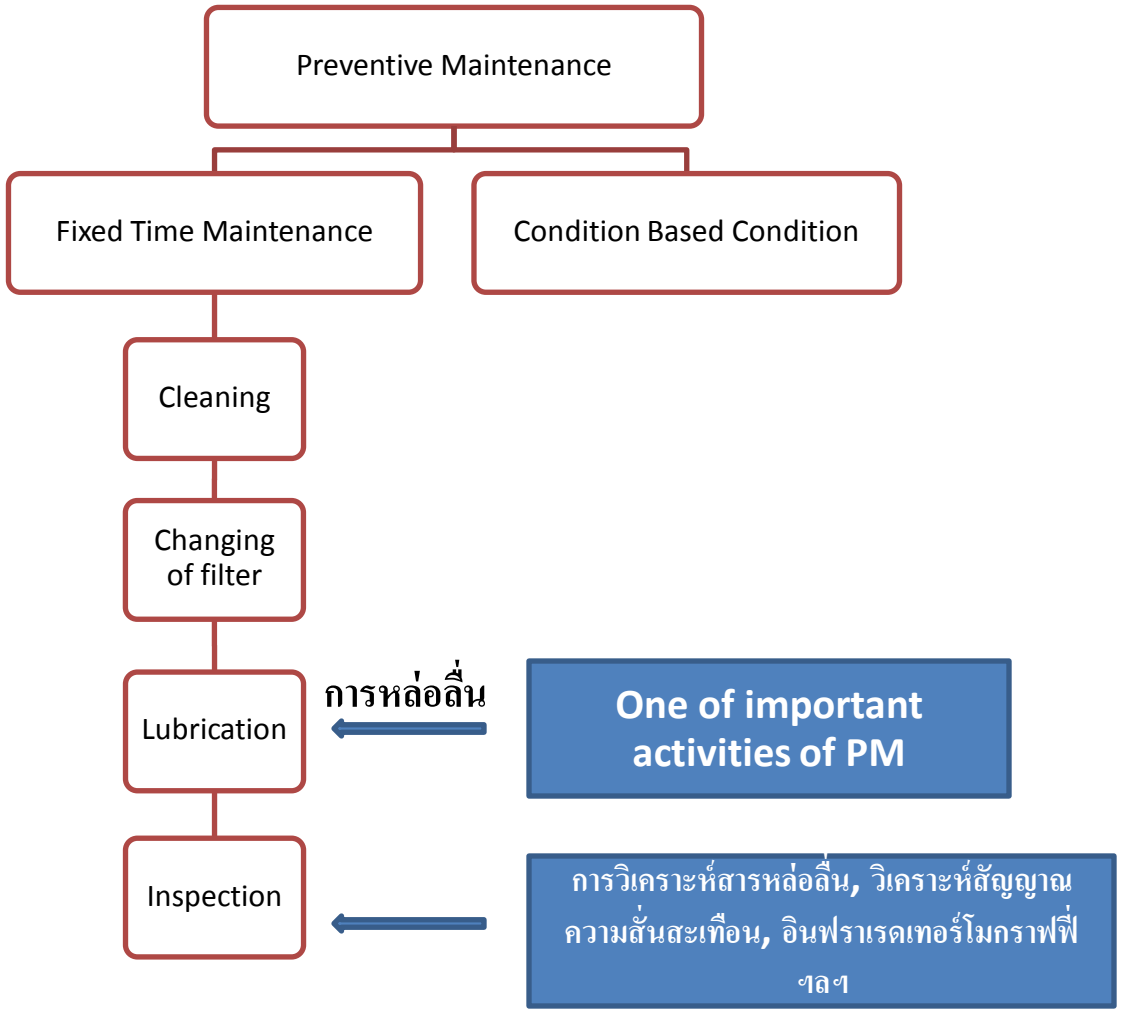






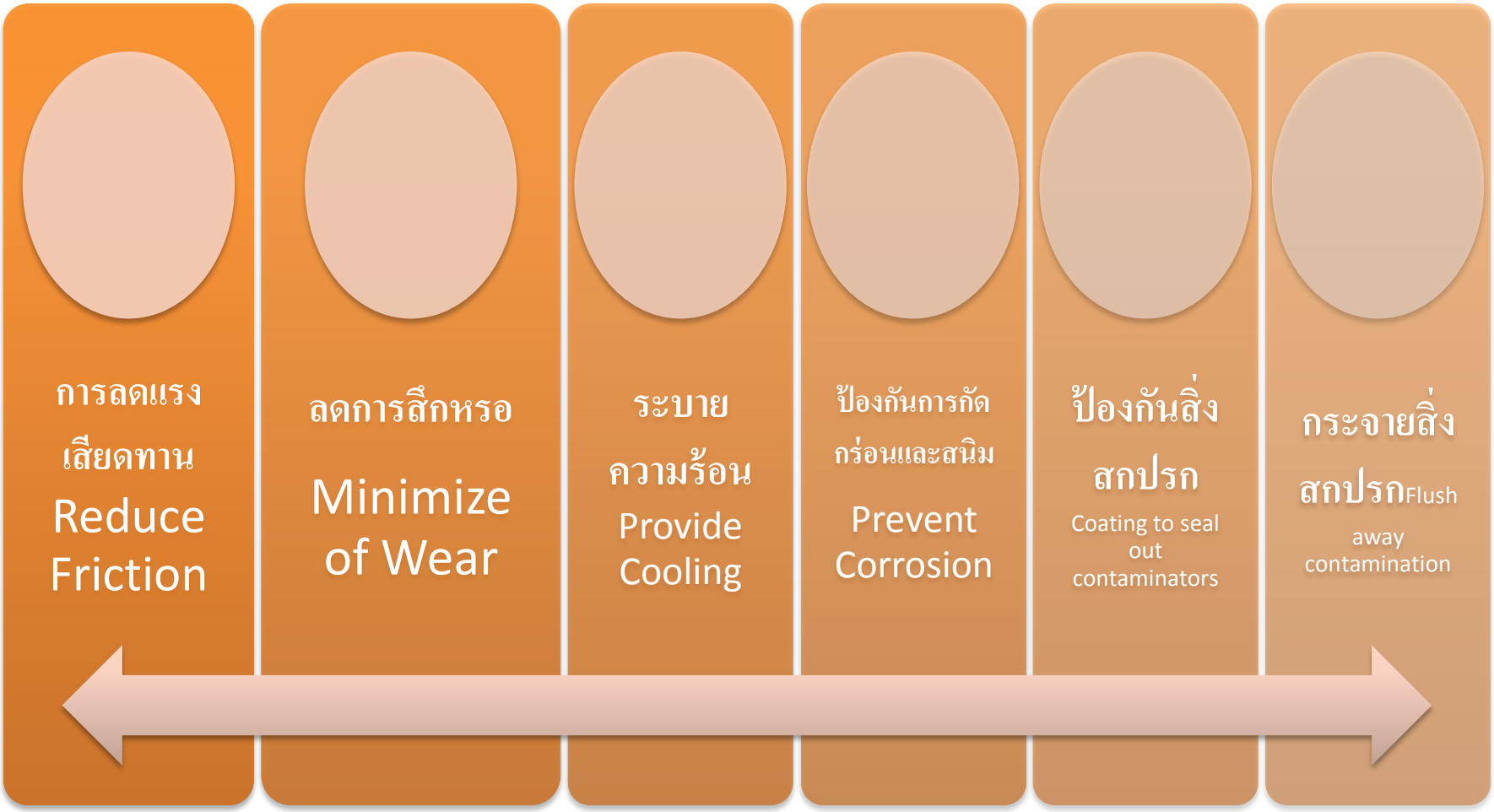


3. การหล่อลื่น (Lubrication)



วัตถุประสงค์การหล่อลื่น

Objective of Lubrication



ขอบเขตของสภาวะการหล่อลื่น

ก. **สภาวะไร้การหล่อลื่น หรือการหล่อลื่นแบบแห้ง (Dry Lubrication)**

- เป็นลักษณะของชั้นฟิล์มแบบแห้ง (Dry film)

ข. **สภาวะการหล่อลื่นแบบบาวน์ดารี (Boundary Lubrication)**

- เป็นชั้นฟิล์มน้ำมันแบบเปียกบางๆ (Thin wet film)

ค. **สภาวะการหล่อลื่นแบบกึ่งสมบูรณ์ (Mixed Lubrication)**

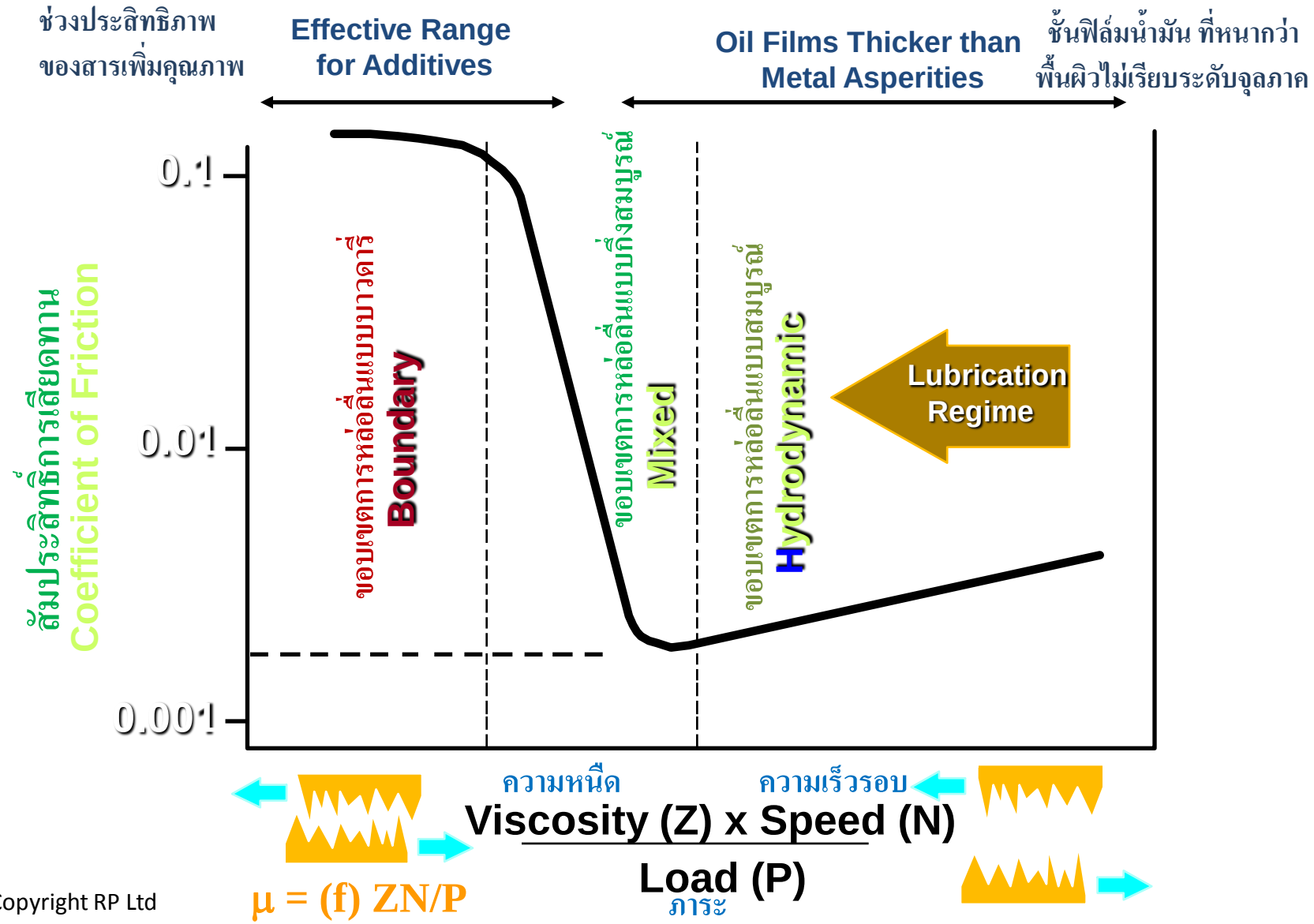
ง. **สภาวะการหล่อลื่นแบบสมบูรณ์ (Full film)**

- ชั้นฟิล์มแบบสมบูรณ์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

ก. ฟิล์มที่เกิดจากกำลังของของเหลว (Hydrodynamic Film)

ข. ฟิล์มน้ำมันแบบ อีเอชดี (Elasto Hydrodynamic : EHD)

STRIBECK-HERSEY CURVE

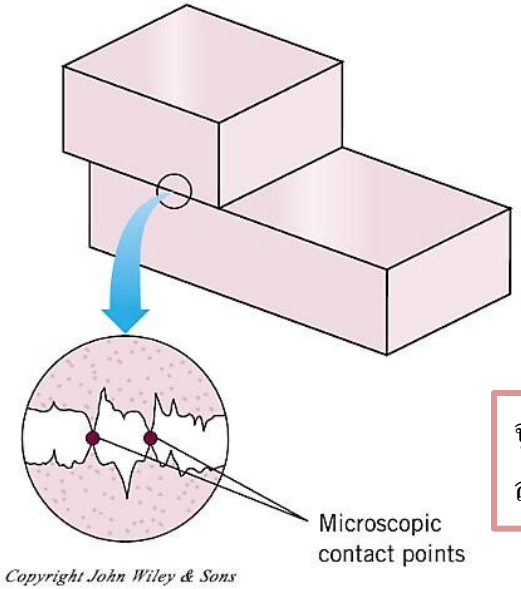


© Copyright RP Ltd

ขอบเขตของสภาวะการหล่อลื่น

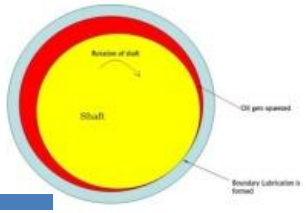
1. สภาวะไร้การหล่อลื่น หรือการหล่อลื่นแบบแห้ง (Dry Friction)

- ผิวสัมผัสของคู่วัสดุสัมผัสกันโดยตรง ทำให้เกิดการเสียหาย หรือสึกหรออย่างรุนแรงบนผิวหน้าของคู่ผิววัสดุ เนื้อวัสดุสูญเสียเป็นปริมาณสูงมาก



จุดสัมผัสขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

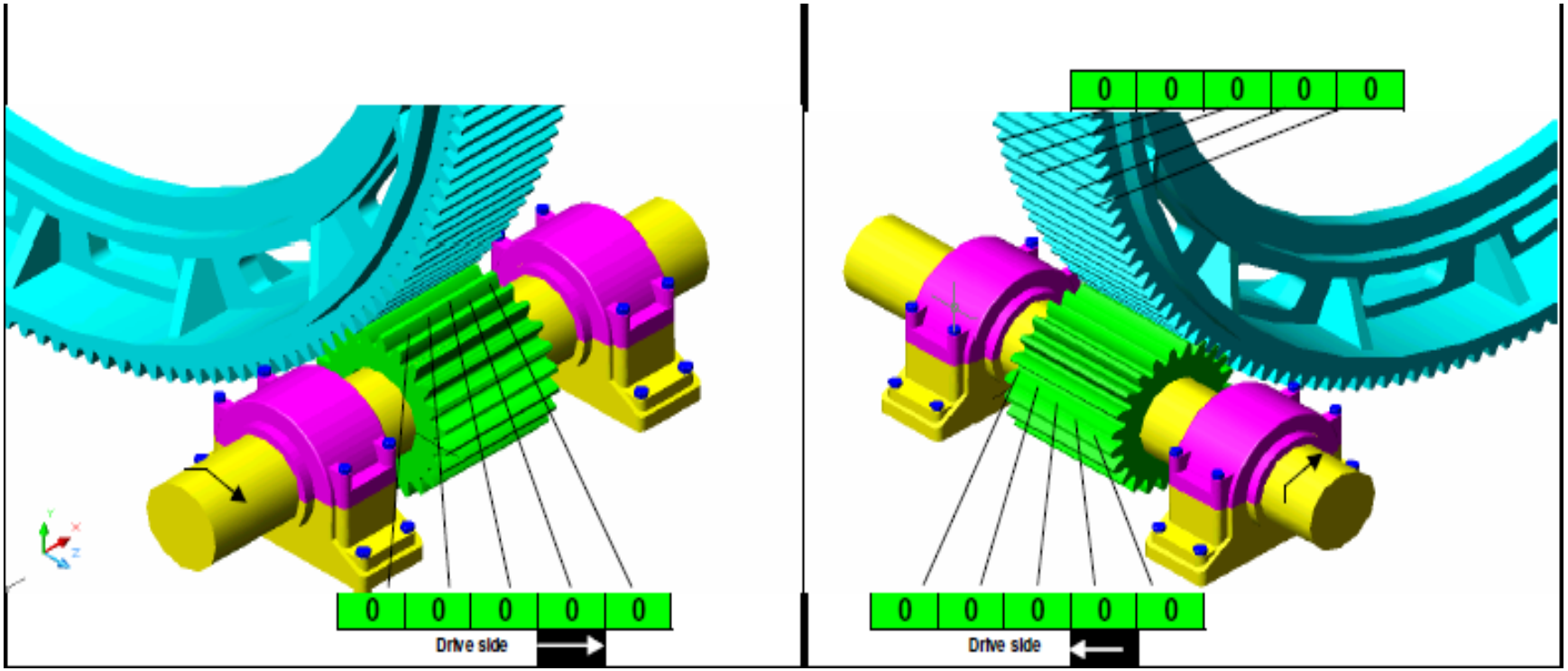
ขอบเขตของสภาวะการหล่อลื่น



2. สภาวะการหล่อลื่นแบบบาวน์ดารี (Boundary Lubrication)

- เป็นสภาวะที่เกิดฟิล์มหล่อลื่นขนาดบางมากที่ชั้นผิวหน้าของวัสดุ มีการขัดสีต่อผิวหน้าของวัสดุอย่างรุนแรง ทำให้เกิดการสึกหรอในชั้นผิวหน้า ยังผลให้เกิดเป็นร่องหลุมบนผิว เมื่อชั้นฟิล์มของสารหล่อลื่นเกิดขึ้นในระหว่างชั้น จะไปปิดหรืออุดร่องหลุมเหล่านั้น ทำให้สามารถรับภาระ (Load) ได้สูงมากยิ่งขึ้น แต่ถ้ามีแรงกระทำที่มากเกินไป ประกอบกับค่าความหนืดลดลง (ใสขึ้น) ปริมาณชนิดสารหล่อลื่นไม่ถูกต้อง อันเป็นผลให้ชิ้นงานถูกบีบเข้าหากันอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องใช้พลังงานในการขับเคลื่อนมากขึ้น เป็นต้น

ตัวอย่าง : ภาพแสดงการขบกันของเฟืองขับหม้อเผา



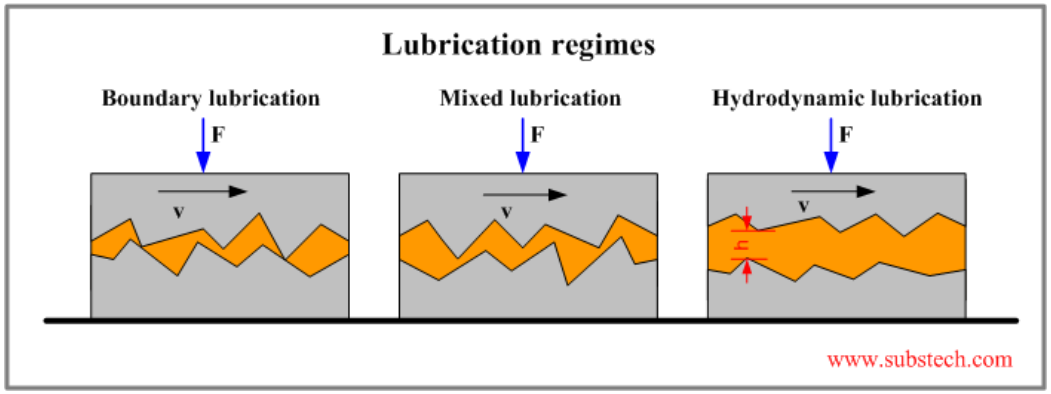
ขอบเขตของสภาวะการหล่อลื่น

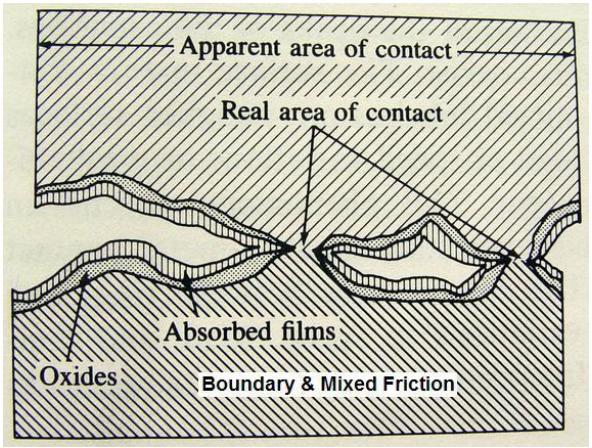
3. สภาวะการหล่อลื่นแบบกึ่งสมบูรณ์ (Mixed Lubrication)

- จะเกิดเมื่อสารหล่อลื่นมีช่วงเวลาที่เหมาะสมในการสร้างชั้นผิวที่มีความแข็งแรงต่อการเฉือนตัวต่ำมาก ซึ่งจะเป็นผลดีต่อค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทาน และการสึกหรอ

การหล่อลื่นแบบผสมหรือการหล่อลื่นแบบกึ่งสมบูรณ์บ่งบอกถึงรูปแบบผสมของหล่อลื่นที่เกิดขึ้น ซึ่งจะมีอย่างน้อย 2 ลักษณะของการสัมผัสกันของคู่วัสดุเกิดขึ้นพร้อมกัน

เป็นลักษณะของสภาวะที่เกิดขึ้นในการสลับเปลี่ยนสถานะระหว่างสัมประสิทธิ์การเสียดทานของการเสียดสีของของแข็งคู่สัมผัสกับสัมประสิทธิ์การเสียดทานในชั้นของสารหล่อลื่น

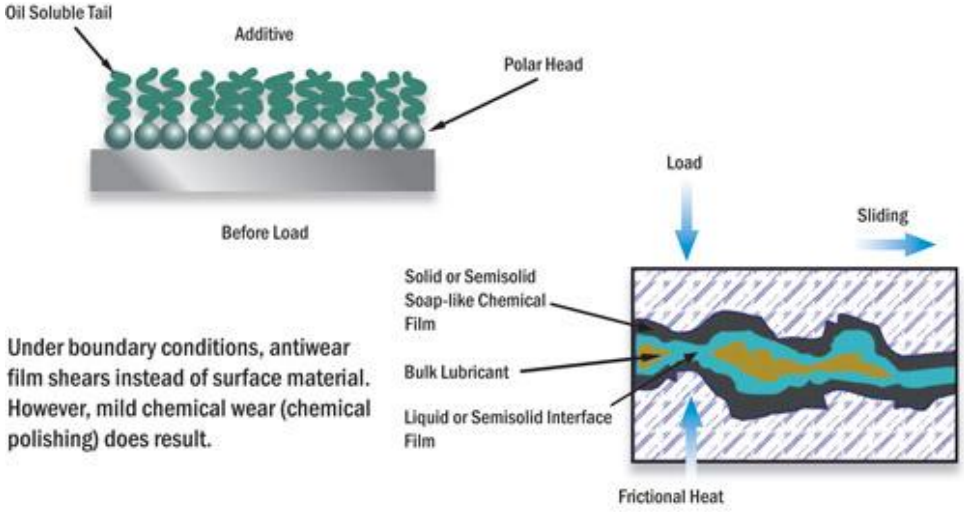


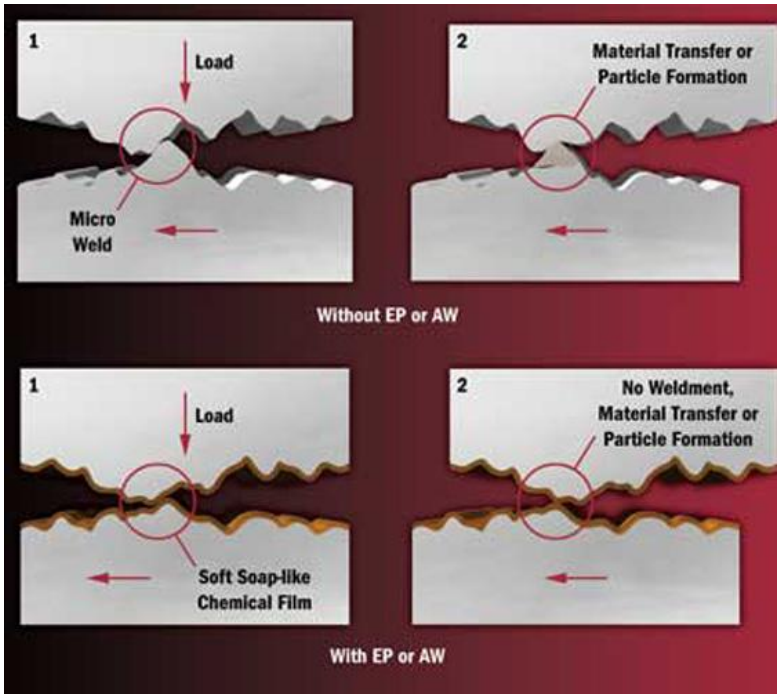


3. สภาวะการหล่อลื่นแบบกึ่งสมบูรณ์ (Mixed Lubrication) (ต่อ)

ก. แบบโพลา (**Polar type**)

ข. แบบอีพี (**EP type**)





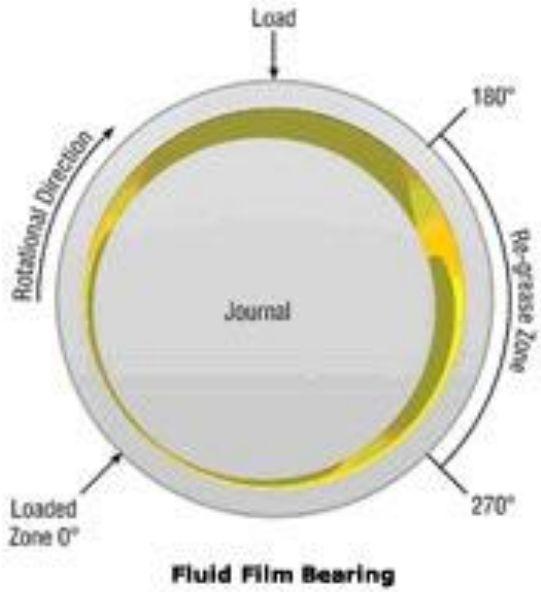
- สารอีพี มีประโยชน์เฉพาะในที่จำเป็นเท่านั้น ในที่ที่ไม่จำเป็น สารเหล่านี้นอกจากจะทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีราคาแพงขึ้นโดยใช่เหตุยังอาจเป็นโทษ ทั้งนี้เพราะสารอีพี เป็นสารประกอบของธาตุที่ไวต่อปฏิกิริยาทางเคมีมาก ดังนั้นจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาที่เป็นอันตรายต่อโลหะบางอย่างได้ในกรณีที่ธาตุนั้นๆ แตกตัวออกมา
- สารอีพี ที่ใส่ลงไปในน้ำมันหล่อลื่นจะทำงานได้ดีเฉพาะที่อุณหภูมิสูงๆ เท่านั้น ดังนั้นในกรณีที่แรงกดและการเสียดสีไม่มาก หรือรุนแรงพอที่จะทำให้เกิดอุณหภูมิเฉพาะจุดที่สูงพอที่จะเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวข้างต้นได้ สารเหล่านี้ก็จะไม่ทำหน้าที่ของมัน

ขอบเขตของสภาวะการหล่อลื่น

4. สภาวะการหล่อลื่นแบบสมบูรณ์ (Full Film)

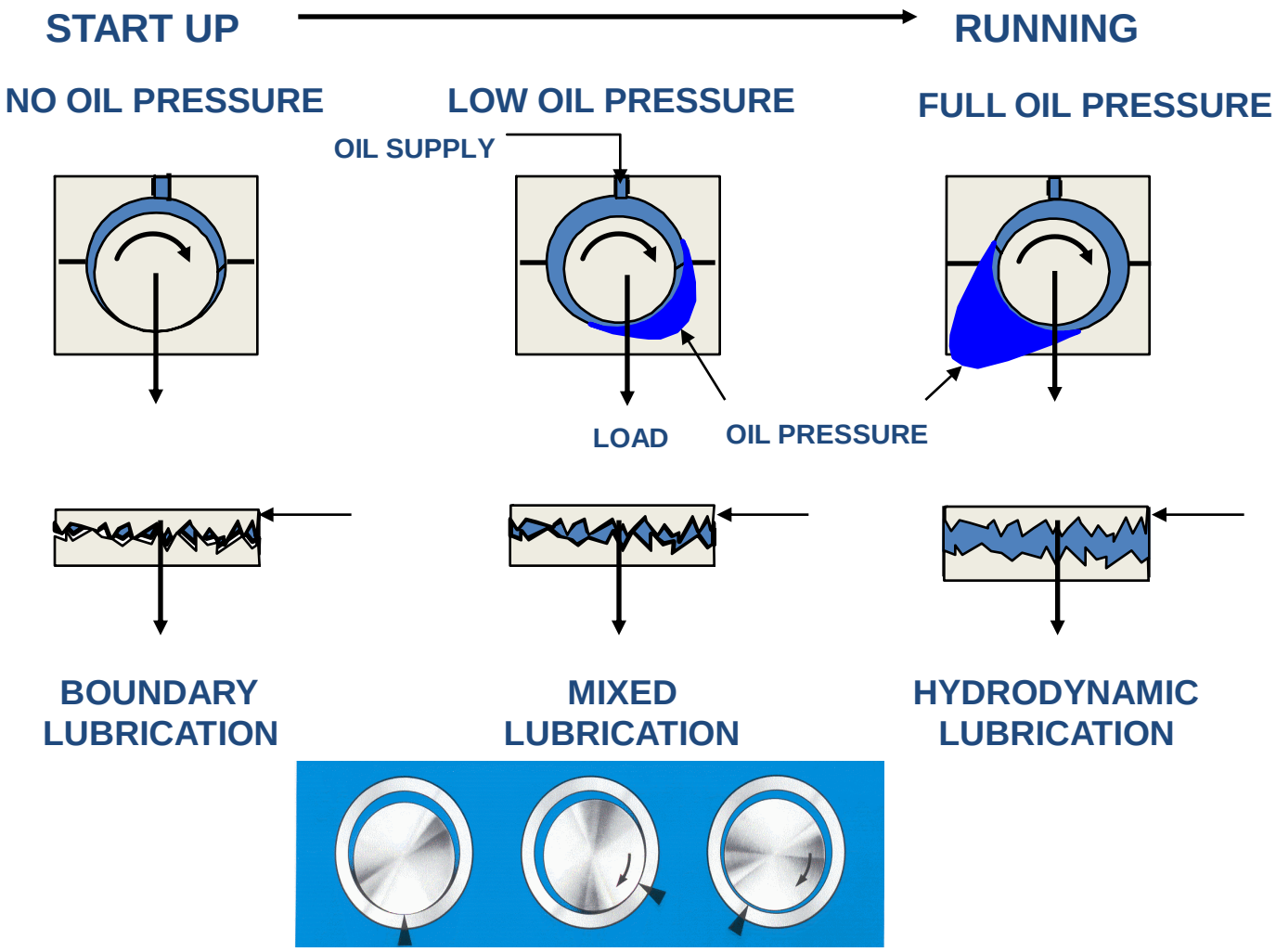
4.1 ฟิล์มที่เกิดจากกำลังของของเหลว (Hydrodynamic Film)

- เป็นขอบเขตที่มีการใช้สารหล่อลื่น ทำให้เกิดฟิล์มน้ำมันหนาพอ หรือเหมือนลิ้มน้ำมันที่แยกผิวคู่ของวัสดุที่มีการเคลื่อนที่ออกจากกันโดยสิ้นเชิง เป็นการหล่อลื่นแบบเต็มฟิล์ม สัมประสิทธิ์ของการเสียดทานจะขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การเสียดทานของชั้นสารหล่อลื่น กับค่าความหนืดของสารหล่อลื่นนั้นเพียงอย่างเดียว



Fluid Film Bearing

LUBRICATION IN BEARINGS



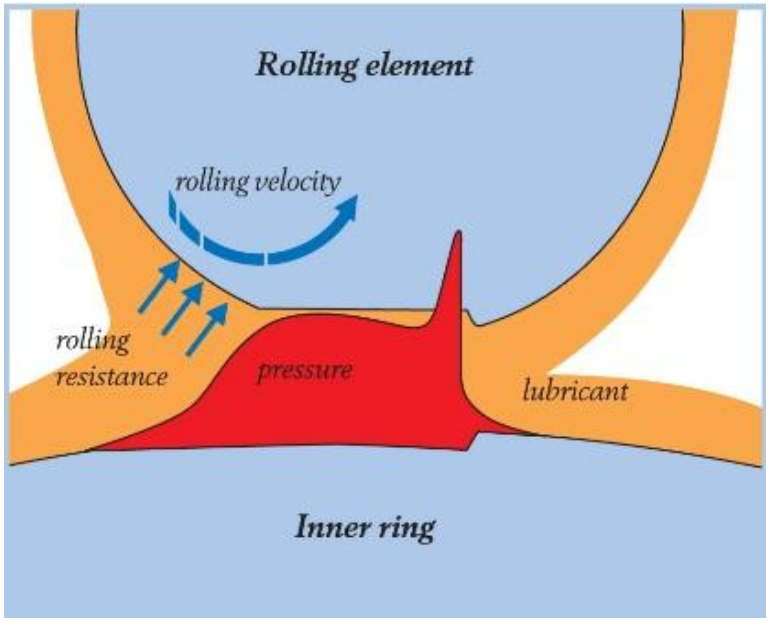
ขอบเขตของสภาวะการหล่อลื่น

4.2 ฟิล์มน้ำมันแบบ อีเอชดี (Elasto Hydrodynamic : EHD)

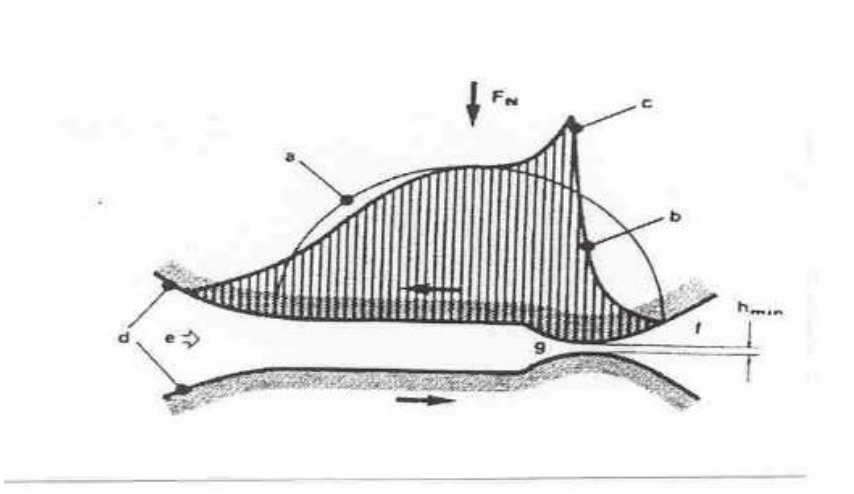
ดังนั้นผลของการเกิด (EHD) จะทำให้เกิด

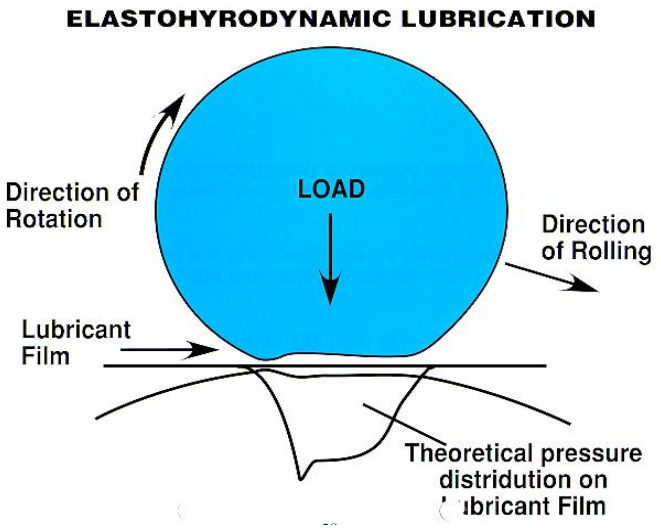
4.2.1 ผิวคู่สัมผัสจะมีการเสียรูปอย่างไม่ถาวร (คืนตัวได้)

4.2.2 ความหนืดในจุดสัมผัสของสารหล่อลื่นมีค่าสูงขึ้นอย่างยิ่งยวด เนื่องจากแรงดันยิ่งยวด ที่เกิดขึ้นในชั้นสารหล่อลื่น



Elastohydrodynamic (EHD)





a : ค่าแรงดันเฮิรตซ์ (Hertzian pressure), b : ลักษณะการกระจายของแรงดันในช่วง EHD, c : จุดเปตรูเซวิตซ์ Petrusevith point, d : ความหนาของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่น(Lubricant film), d : ช่องทาง(Inlet zone), f : ช่องทางออก (Outlet zone), g : บริเวณการคืนตัวของวัสดุ (Elastic point), hmm : ความหนาฟิล์มน้ำมันต่ำสุด (Minimum reduced film thickness), FN : ภาระ/แรงกระทำ

ลักษณะของคู่สัมผัส **EHD** อาจจะมีแรงกดสูงถึง 10,000 บาร์ ซึ่งทำให้ความหนืดมีค่าความสูงขึ้นมากอย่างรวดเร็ว ซึ่งแนวทางดังกล่าวไม่สามารถอธิบายโดยทฤษฎีของ **HD** โดยทั่วไปความหนาของฟิล์มน้ำมันใน **EHD** จะมีค่าประมาณหลายพันเท่าของความยาวของฟิล์มน้ำมัน ตย.หากใช้น้ำมันความหนืด **SAE 30** ที่สภาวะ **EHD** จะมีความหนืดสูงถึง 30 **Mpas** (ตย.การเกิด **EHD**ในชิ้นส่วนอุปกรณ์ทางกล ดังรูป)

ความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะสารหล่อลื่น ค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทานและการสึกหรอ

สภาวะการหล่อลื่น	ค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทาน	การสึกหรอ
การลื่นไถลแบบไร้สารหล่อลื่น	> 0.3	สูงมาก
การหล่อลื่นแบบบาวน์ดารี	< 0.005	เล็กน้อย
การหล่อลื่นกึ่งสมบูรณ์	< 0.005 – 0.3	เล็กน้อย
การหล่อลื่นแบบสมบูรณ์	< 0.005 – 0.1	แทบไม่เกิดขึ้น