We are Engineers

กลไกการสึกหรอและการวิเคราะห์ความเสียหายเครื่องจักร กรณีตัวอย่างลิฟต์และเครน

โดย ศ.ดร.มงคล มงคลวงศ์โรจน์

กรรมการสภาวิศวกรสมัย 8 และอนุกรรมการสวัสดิการฯ

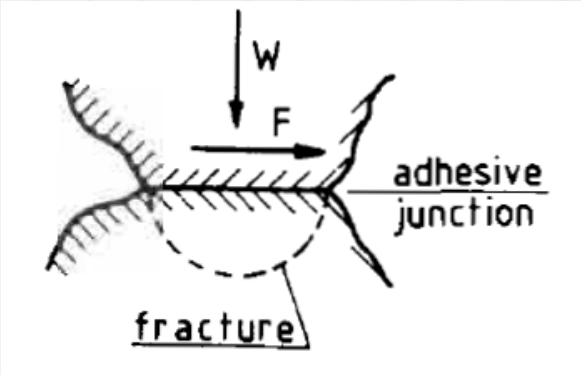
วันที่ 1 ธันวาคม 2566 เวลา 14.00 – 16.00 น.

We are Engineers

การสึกหรอ

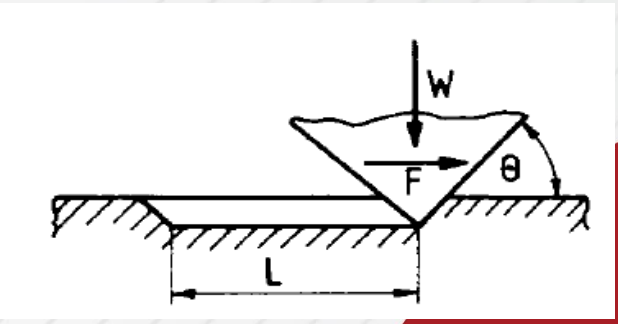
- **การสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive wear)**

1. เกิดการเปลี่ยนรูปร่างของยอดความหยาบที่เตะสัมผัส
2. ฟิล์มระหว่างผิวทั้งสองถูกทำลาย
3. เกิดรอยยึดติด
4. เกิดความเสียหายของรอยยึดติดเป็นผลให้เกิดอนุภาคเนื้อวัสดุสึกหรือหลุดออกเรียกwear particles



- **การสึกหรอแบบขัดสี (Abrasive wear)**

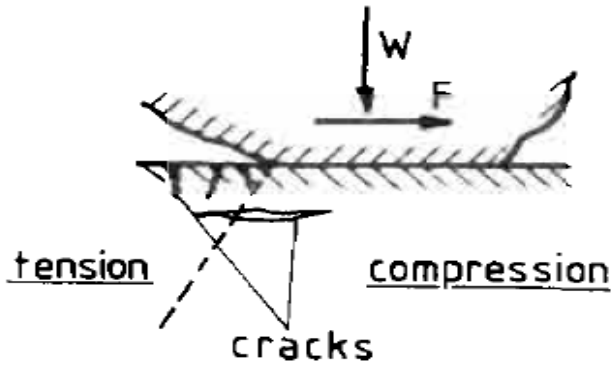
1. ความต้านทานการสึกหรอจะขึ้นกับค่าความแข็งของวัสดุ
2. การสึกหรอแบบขัดสีจะเกิดเมื่อวัสดุมีค่าความแข็งของวัสดุต่างกันไม่น้อยกว่า 30%



We are Engineers

- **การสึกหรอร่วมกับการล้าที่ผิว (Surface fatigue wear)**

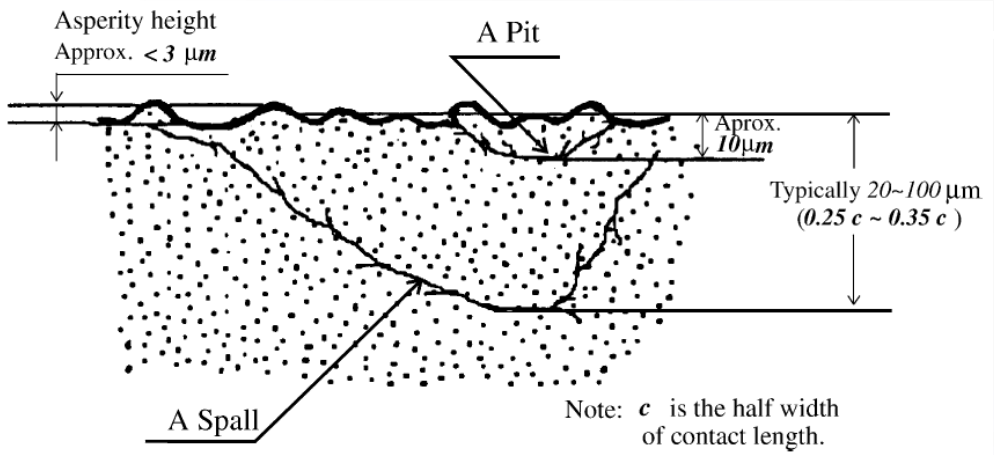
1. เกิดการกระจายค่าความเค้นและการเปลี่ยนค่าความเค้นที่บริเวณผิวที่เตะสัมผัสกัน
2. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพิ่มขึ้นต่อ stress cycle
3. ทำให้เกิดรอยร้าวใต้ผิวที่เตะสัมผัสกัน
4. รอยร้าวจะขยายตัวขึ้นสู่ผิวทำให้เกิดอนุภาคหลุดออก (wear particles)



We are Engineers

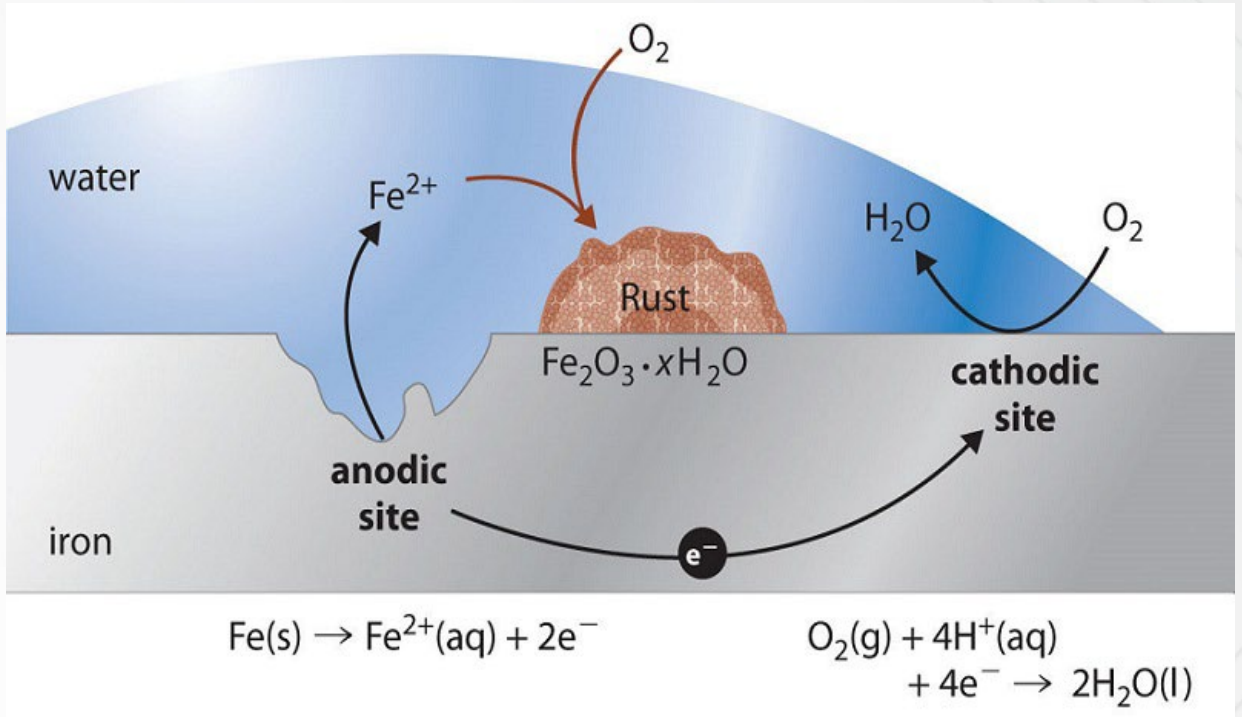
- **การสึกหรอแบบถูครูด (Fretting wear)**

1. เริ่มจากการเกิดรอยร้าวจากในเนื้อวัสดุมีอนุภาคแข็งแปลกปลอม หรือมีตำหนิ
2. เมื่อชิ้นงานรับ cyclic contact stress and repeated rolling and/or rolling-sliding จะทำให้รอยร้าวขยายใหญ่
3. ในที่สุดจะเกิดความเสียหายเนื้อวัสดุจะหลุดตามรูป



We are Engineers

- การสึกหรอจากการผุกร่อน (Corrosion wear)



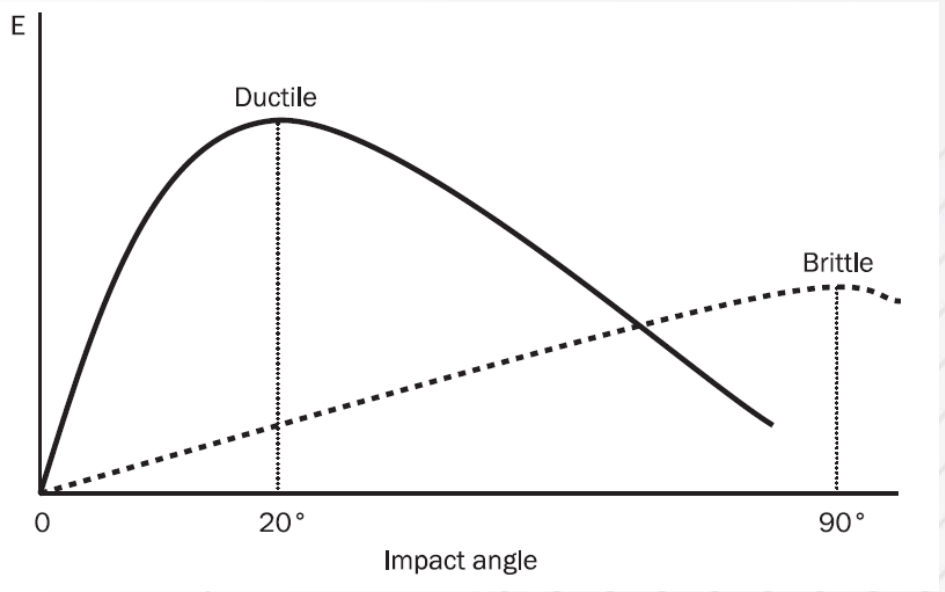
จากรูปเป็นชิ้นงานเหล็กที่เคลือบป้องกันการผุกร่อนมีรอยขีดข่วนเป็นผลทำให้ชิ้นงานเหล็กที่เกิดการผุกร่อนอย่างรวดเร็ว ผิวชิ้นงานเหล็กที่สัมผัสกับอากาศจะเกิดเป็นขั้ว cathode อ๊อกซิเจนจะถูกลดลงไปรวมกับโลหะเหล็กถูกอ๊อกซิไดเป็น $Fe^{2+}(aq)$ ที่ขั้ว anode ทำให้เกิดสนิม การเกิดElectrochemical ระหว่างขั้ว cathode และขั้ว anode สามารถทำให้เกิดการผุกร่อนเป็นรูใหญ่

We are Engineers

- การสึกกร่อน (Erosion wear)

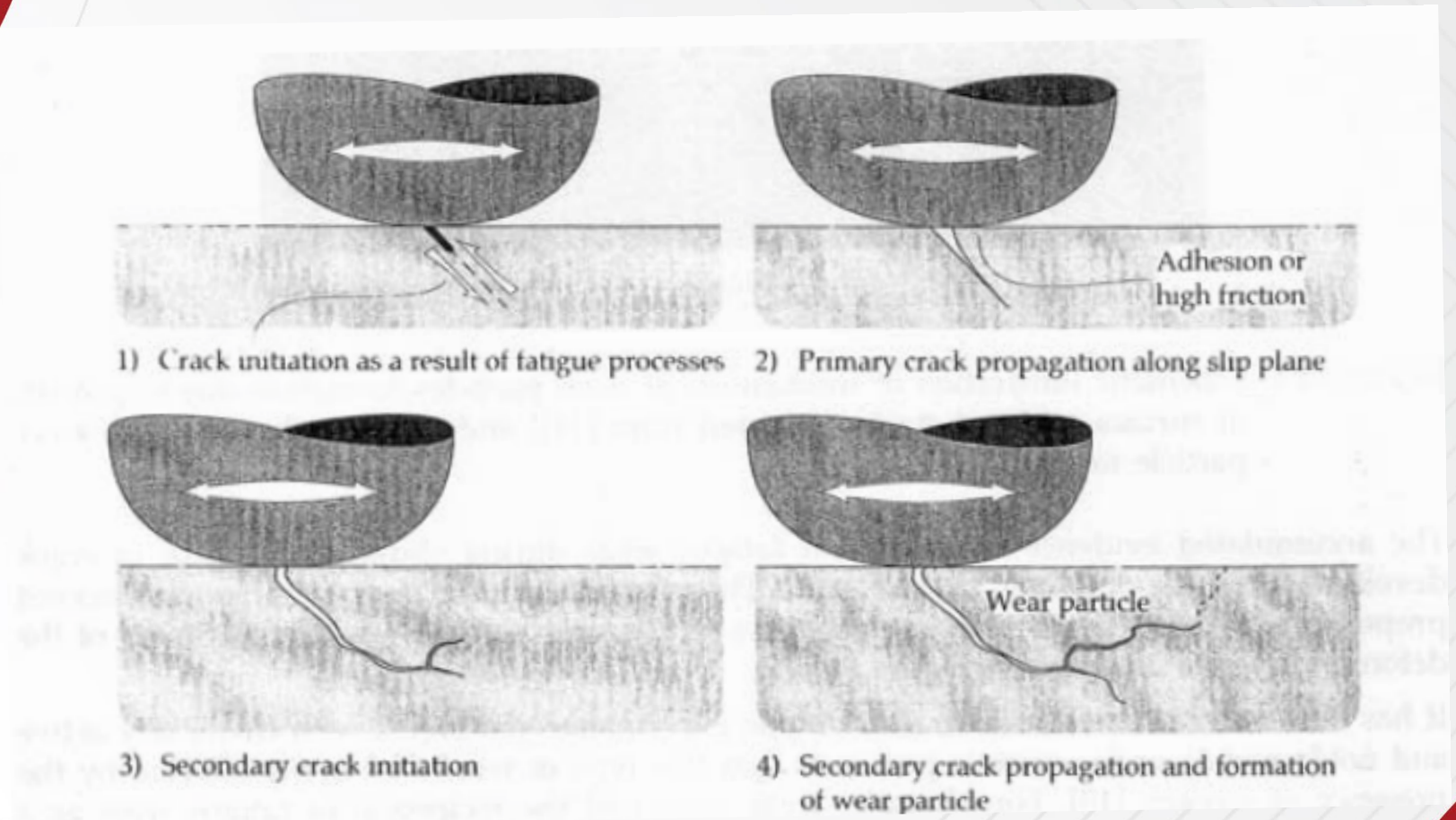
การสึกหรอที่เกิดจากอนุภาคแข็งวิ่งชนผิวชิ้นงานทำให้เนื้อที่ผิวชิ้นงานบางลงหรือสึกกร่อน

การสึกกร่อนจะขึ้นกับความเร็วของอนุภาค มุมที่อนุภาคแข็งชนชิ้นงาน ชนิดของวัสดุชิ้นงานเป็นวัสดุเปราะ (brittle material) หรือวัสดุเหนียว (ductile material)



We are Engineers

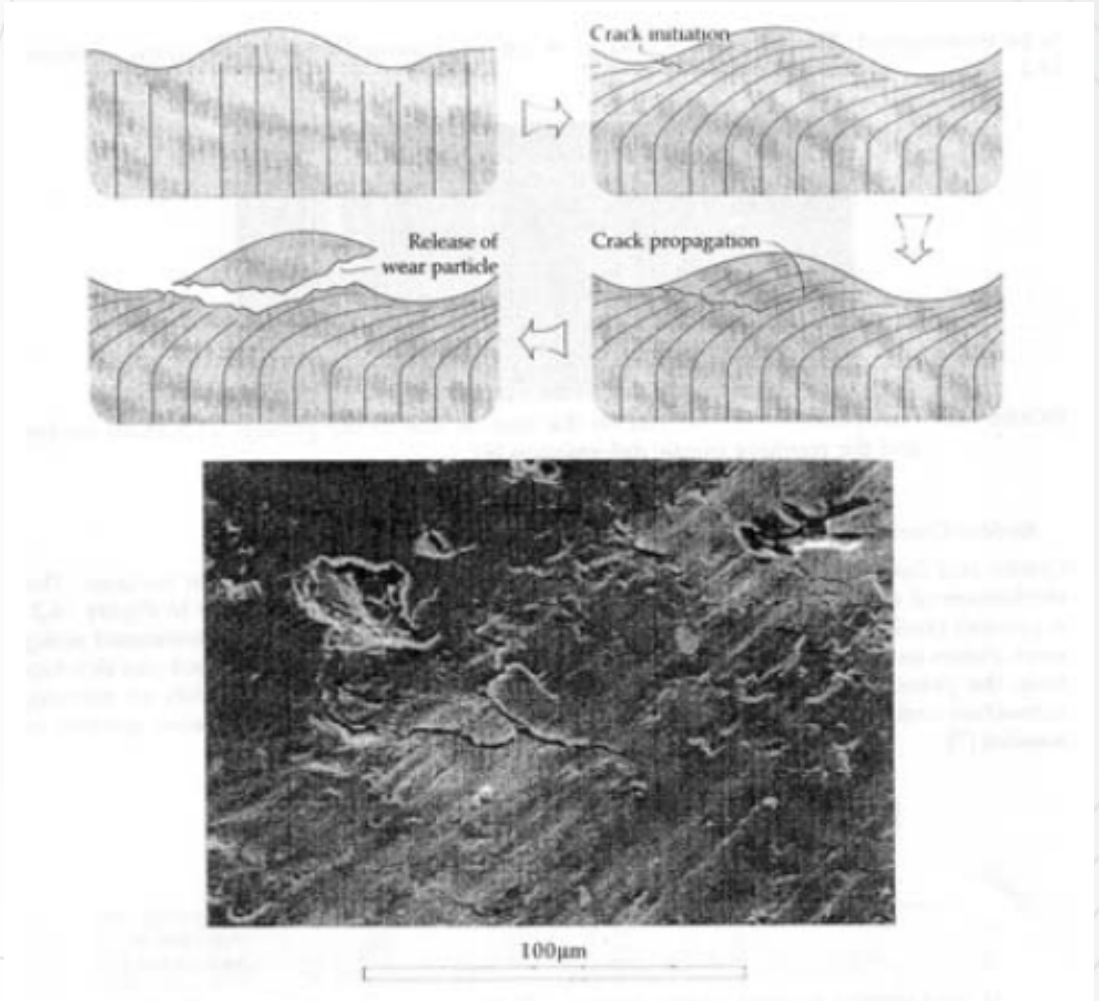
กลไกการสึกหรอ



1) Crack initiation as a result of fatigue processes
2) Primary crack propagation along slip plane
3) Secondary crack initiation
4) Secondary crack propagation and formation of wear particle

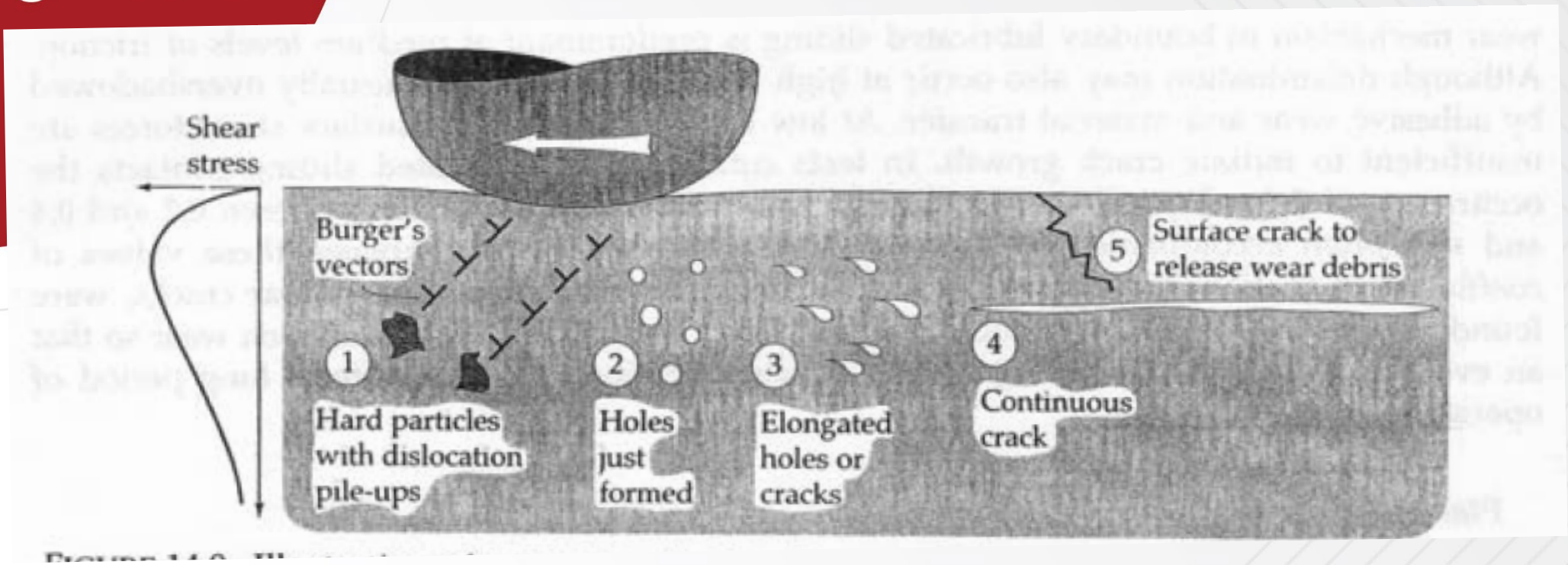
แสดงการเริ่มเกิดรอยร้าวและรอยร้าวจะขยายโตขึ้น

We are
Engineers



แสดงกลไกการสึกหรอที่ทำให้อนุภาคเล็กๆเสียหายเนื่องจากเกิดรอยร้าวและสึกหรอ

We are
Engineers

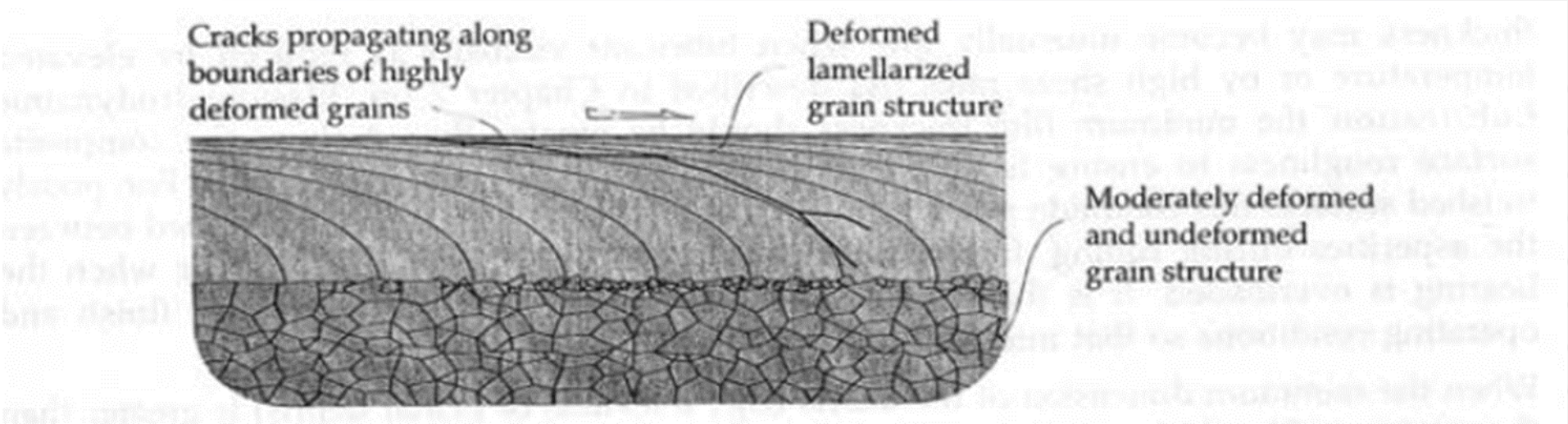


แสดงกระบวนการการสร้างรอยร้าวโดย การเจริญเติบโต และการรวมตัวของช่องว่าง

We are Engineers

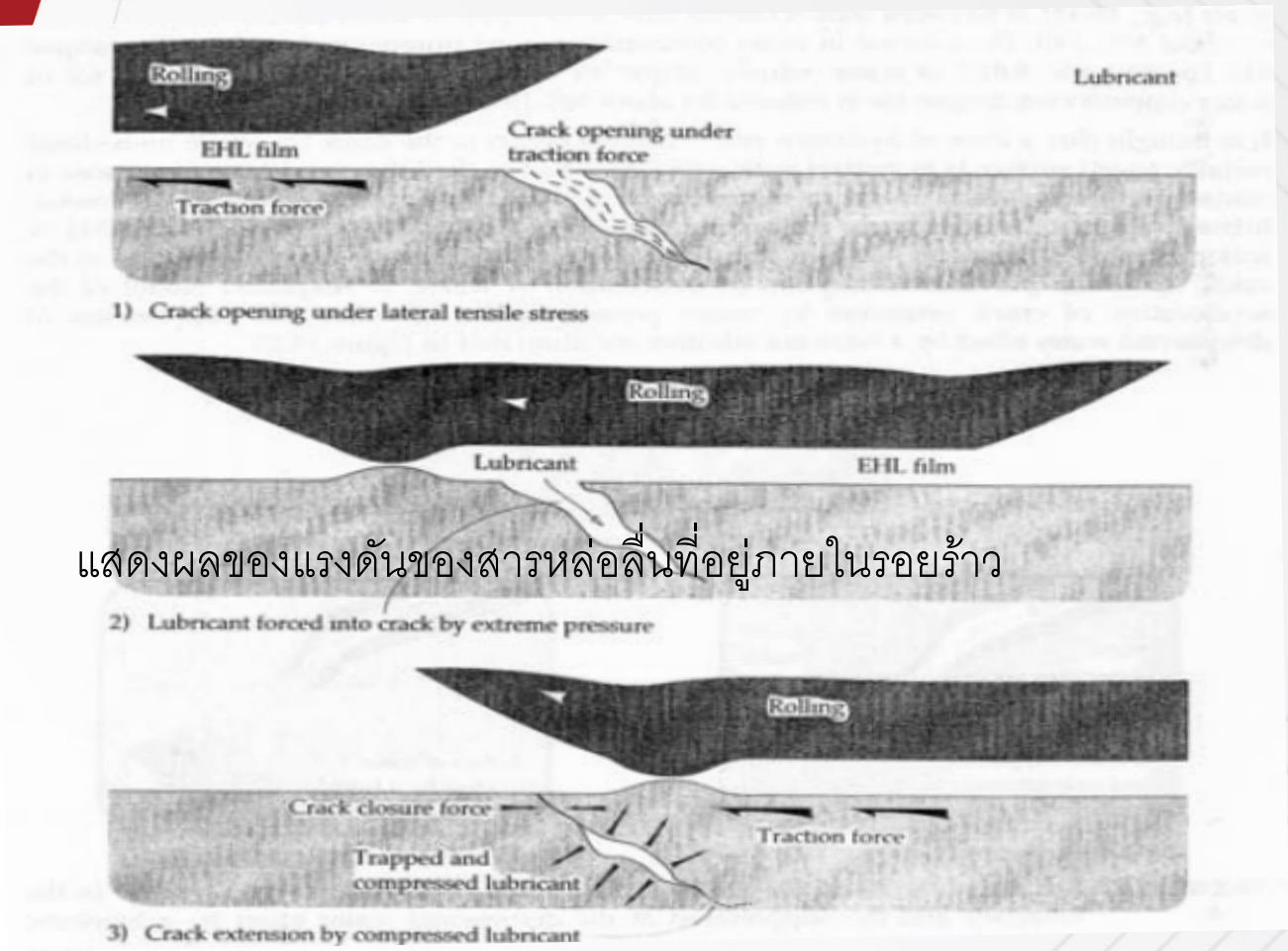
การล้าจากการกดอัดแบบหมุนกลิ้ง

เกิดการเปลี่ยนรูปร่างแบบไม่คืนรูป (plastic deformation) อย่างรุนแรง เนื่องจากการกดอัดของผิวที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนกลิ้ง(rolling contact)



การเกิดรอยร้าวที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปร่างแบบไม่คืนรูปโดยความรุนแรงที่มาจากการกดอัดของผิวที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนกลิ้ง

We are
Engineers



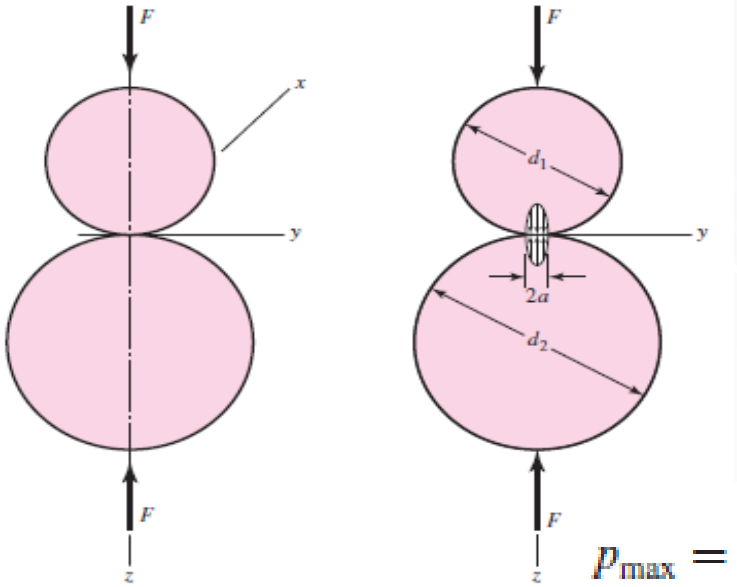
แสดงผลของแรงดันของสารหล่อลื่นที่อยู่ภายในรอยร้าว

แสดงผลของแรงดันของสารหล่อลื่นที่อยู่ภายในรอยร้าว

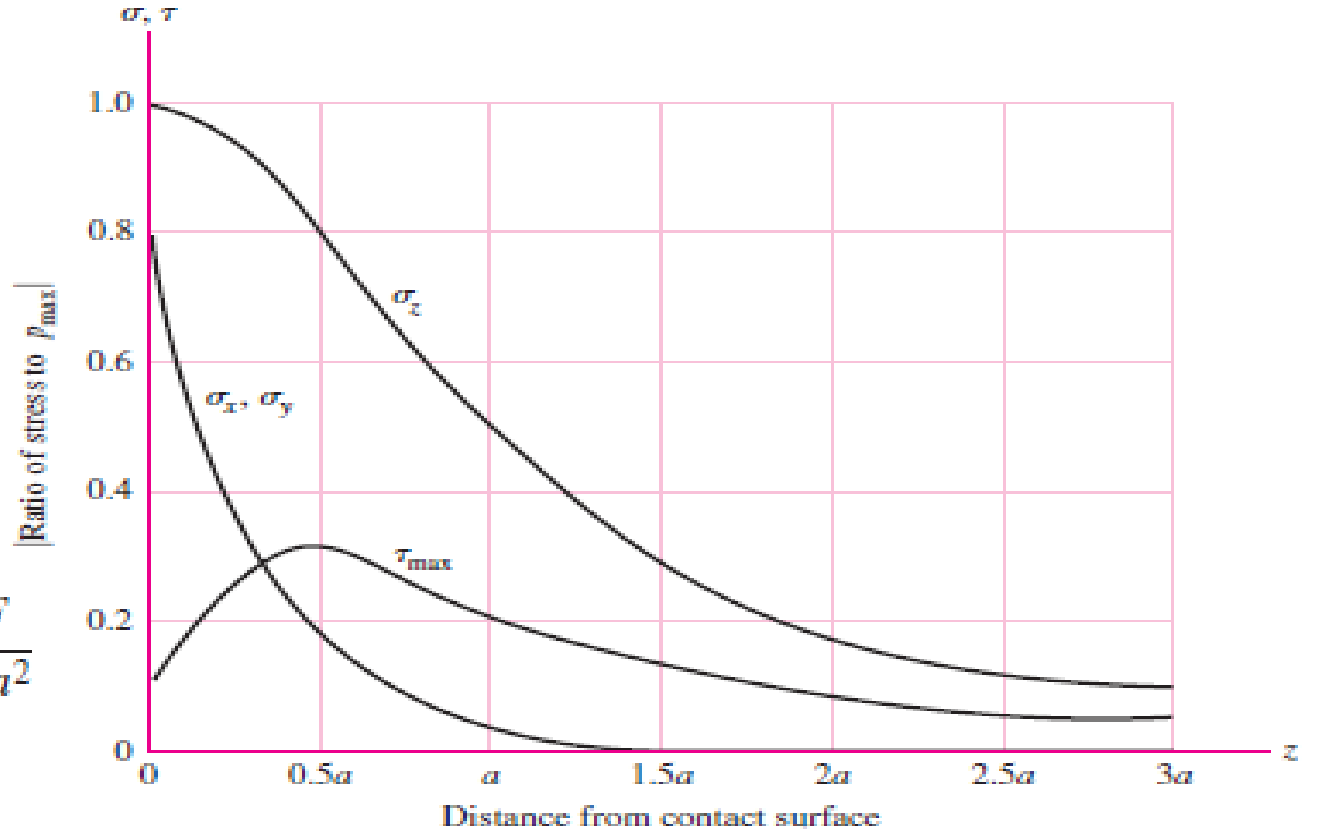
We are Engineers

กลศาสตร์การกดอัด

การกดอัดของทรงกลม



$$p_{max} = \frac{3F}{2\pi a^2}$$

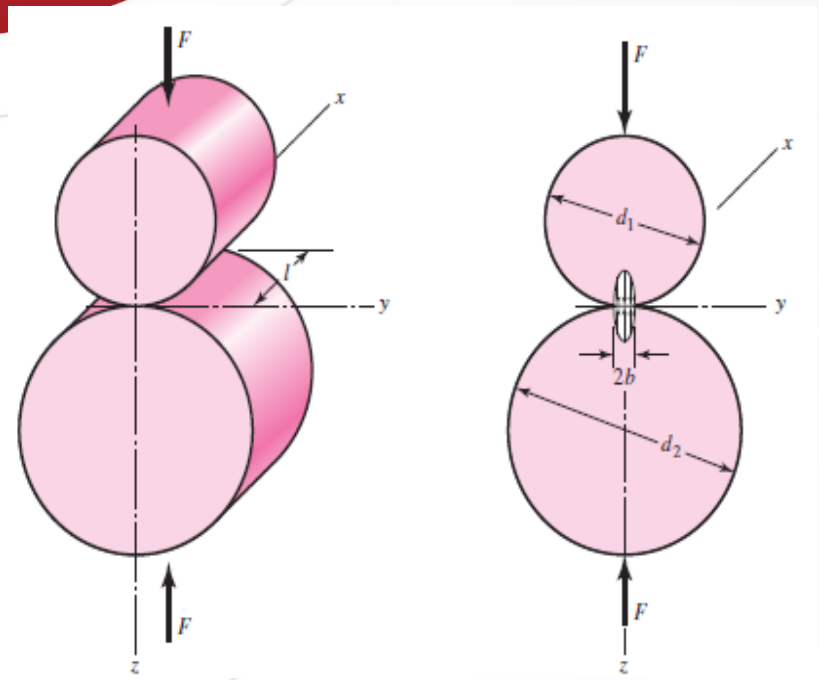


Max shear stress = 0.31 P_{max} at z/a = 0.48

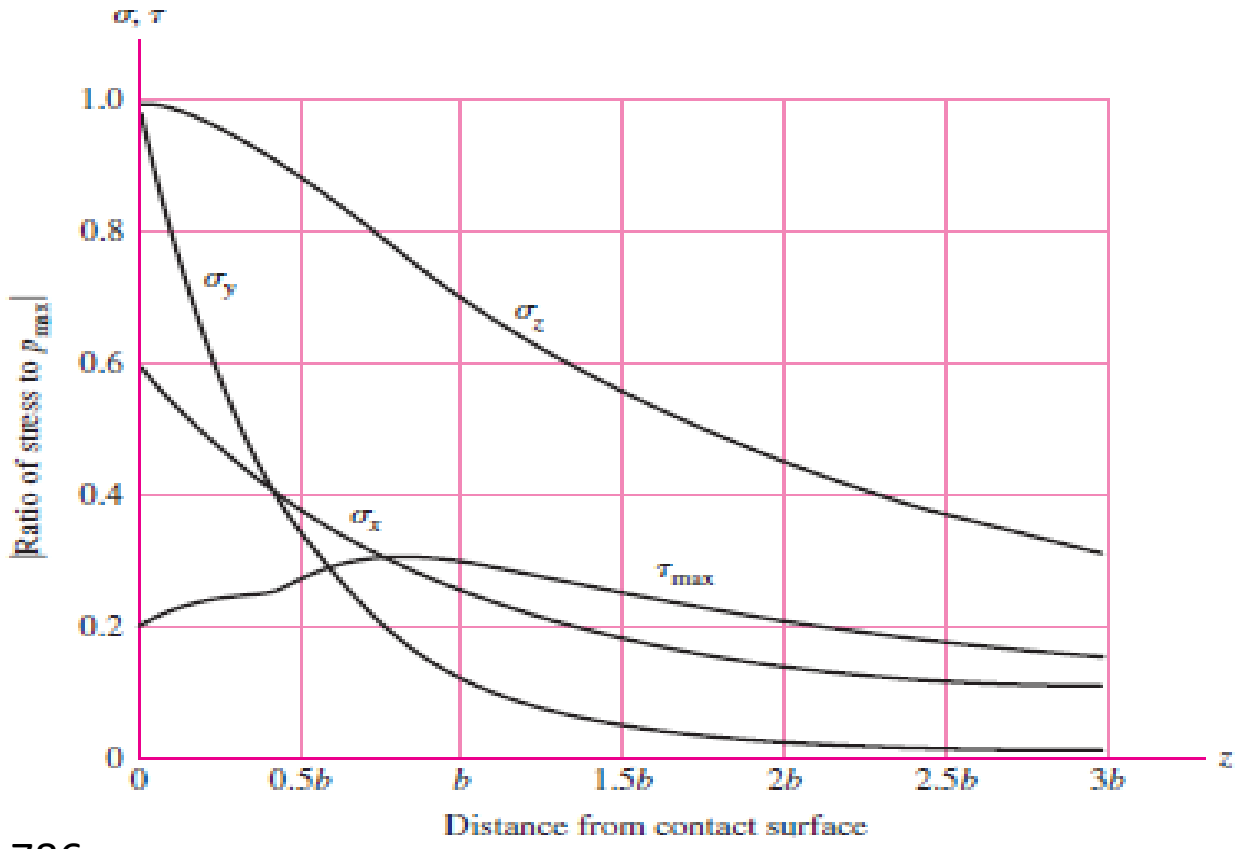
We are Engineers

กลศาสตร์การกดอัด

การกดอัดของทรงกระบอก

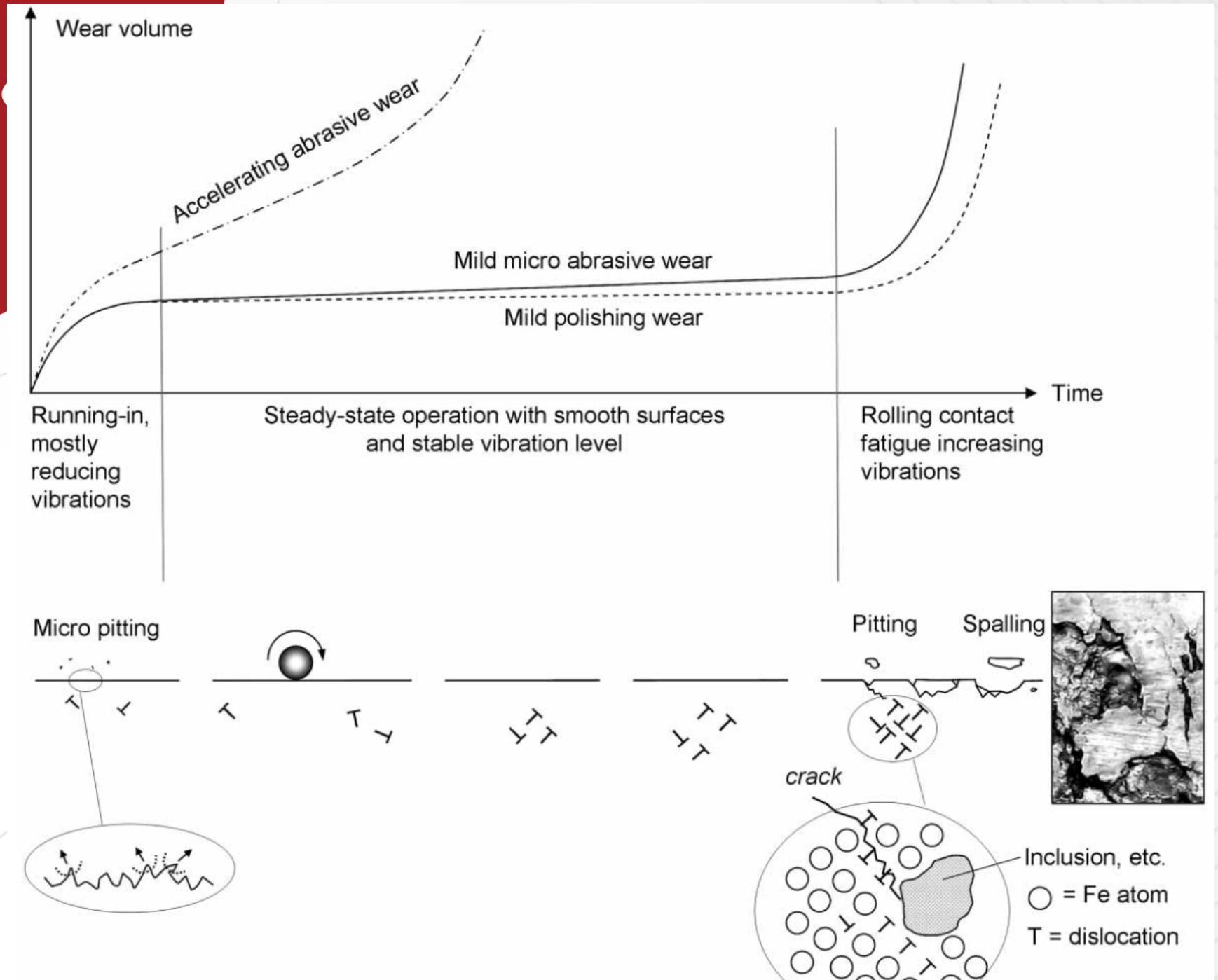


$$p_{max} = \frac{2F}{\pi bl}$$



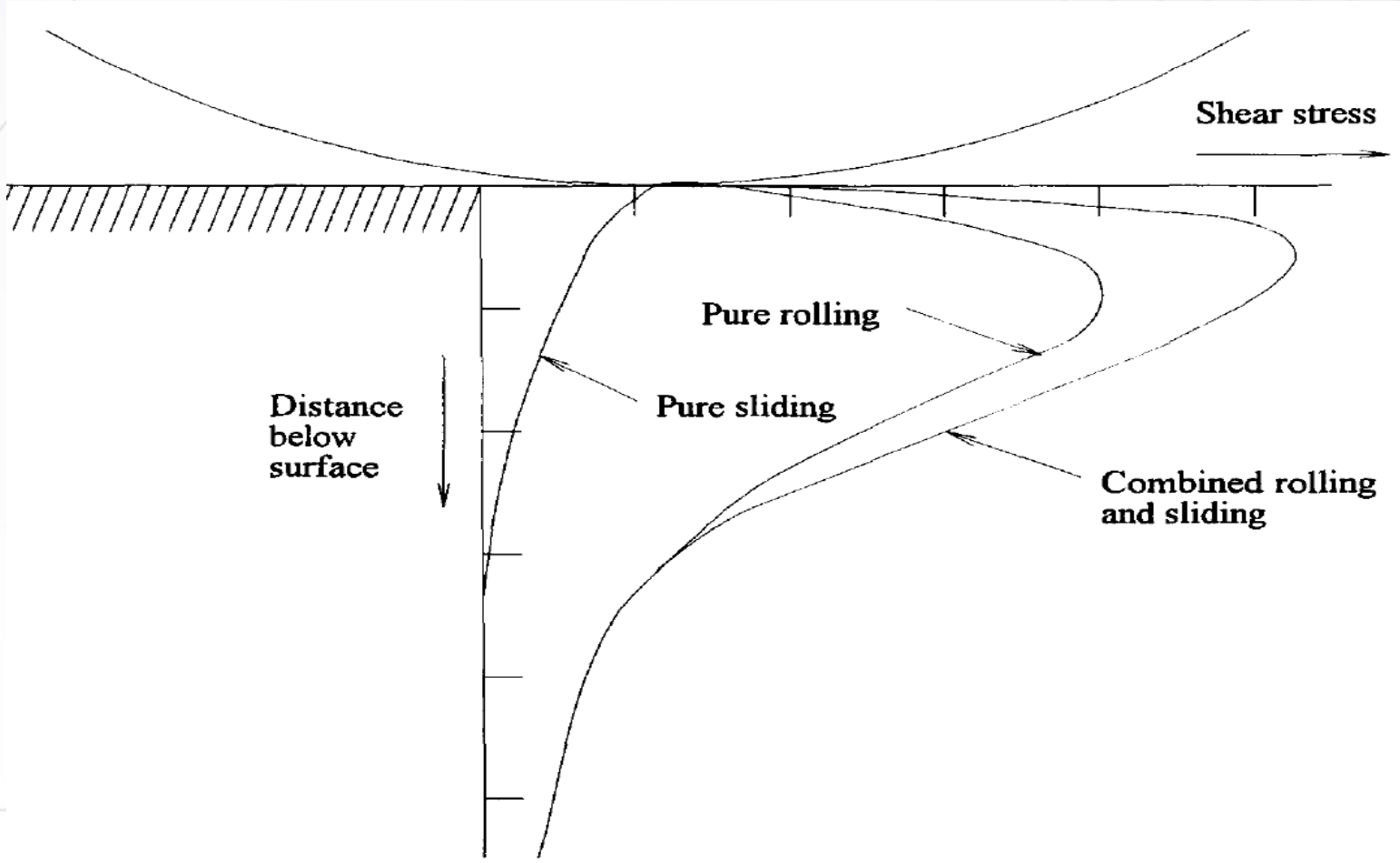
Max shear stress = 0.30 P_{max} at z/b = 0.786

We are
Engin


Wear volume
Accelerating abrasive wear
Mild micro abrasive wear
Mild polishing wear
Time
Running-in, mostly reducing vibrations
Steady-state operation with smooth surfaces and stable vibration level
Rolling contact fatigue increasing vibrations
Micro pitting
Pitting
Spalling
crack
Inclusion, etc.
○ = Fe atom
T = dislocation

We are Engineers

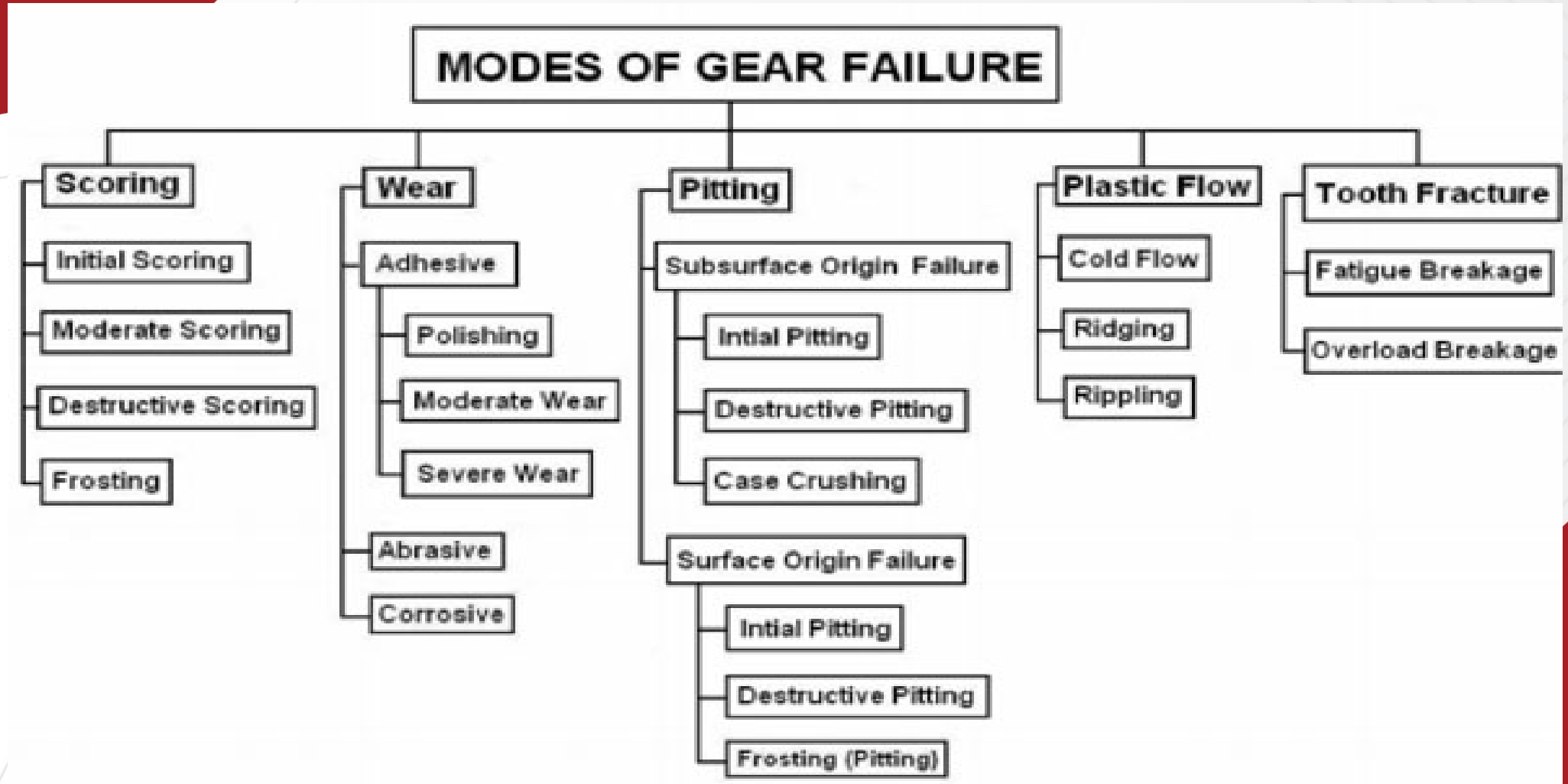
SLIDING–ROLLING CONTACT FATIGUE



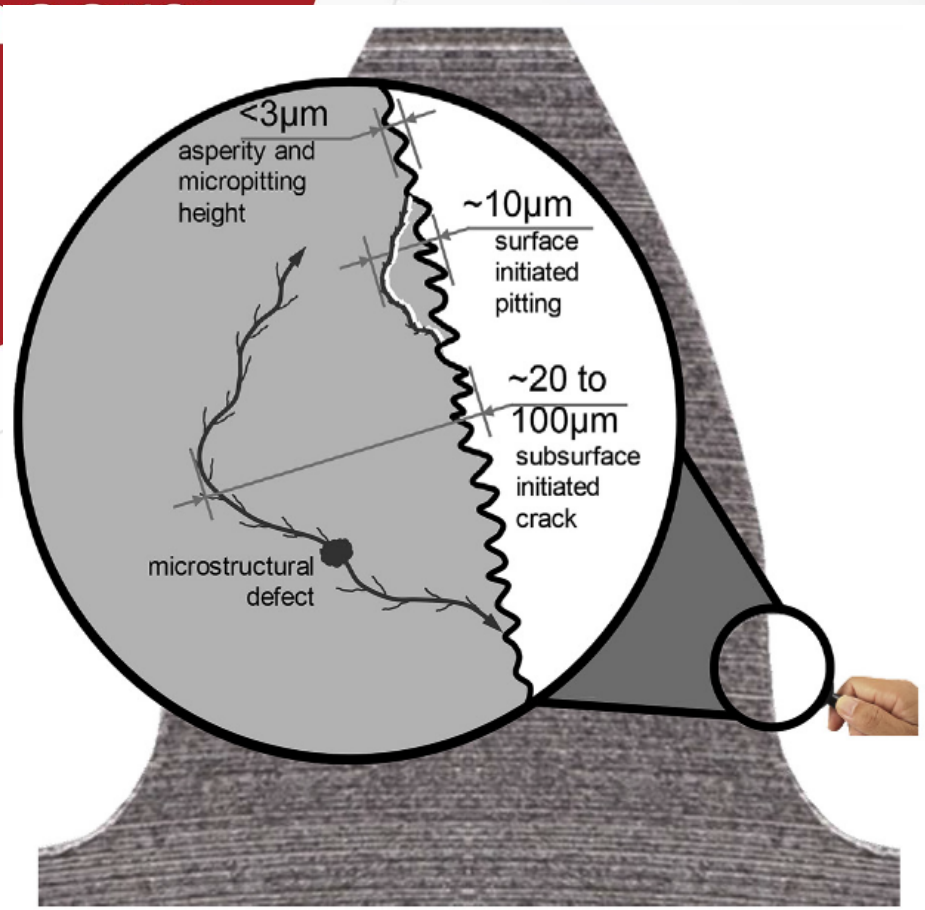
Stress distribution at and near two contacting surfaces under sliding–rolling conditions.

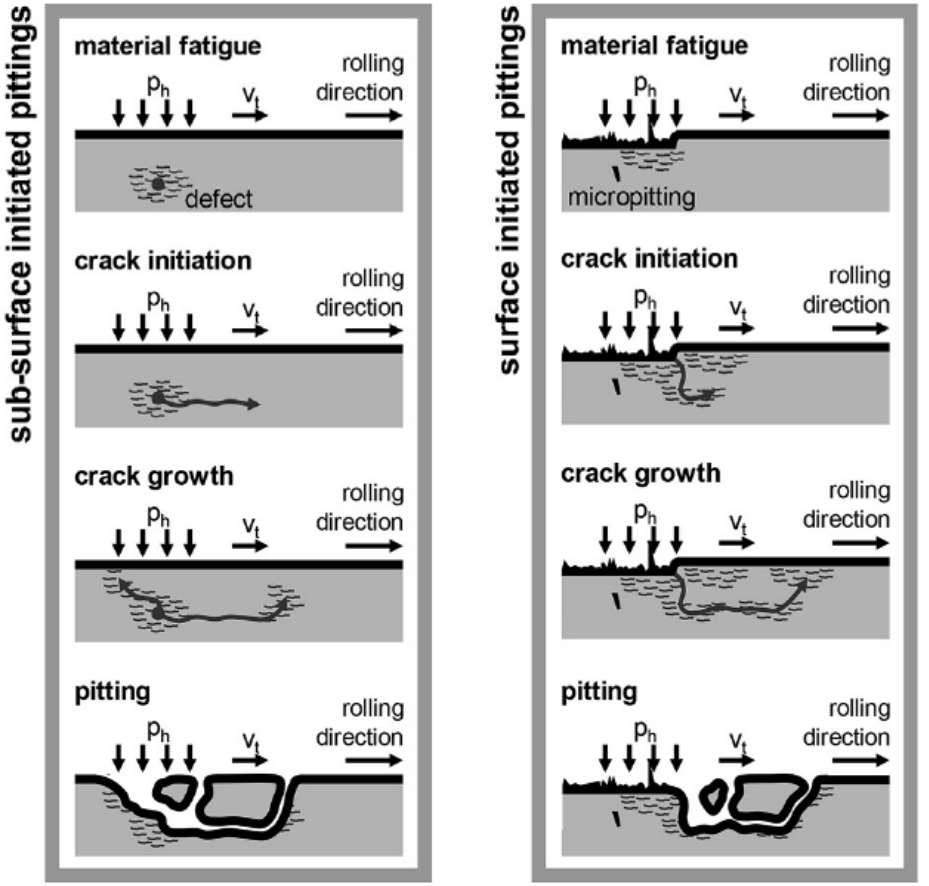
We are Engineers

ความเสียหายของฟันเฟือง



We are
Engin



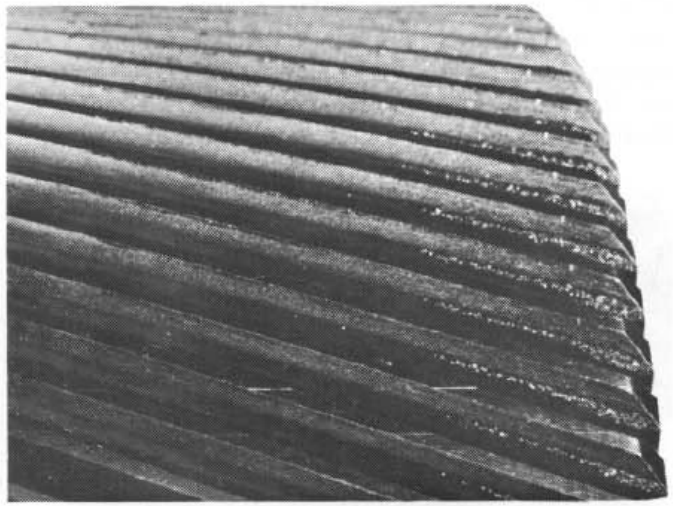


Pittings

We are Engineers

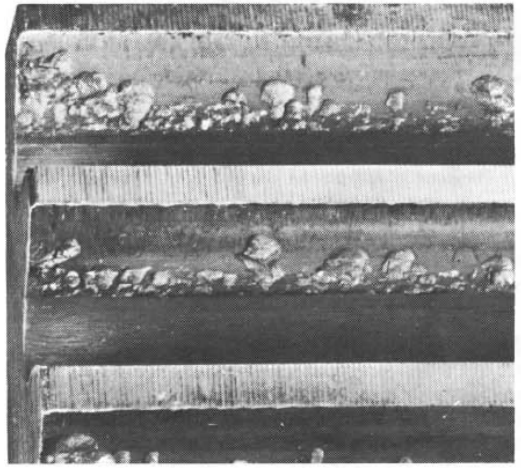
ความเสียหายของฟันเฟือง

Pittingเป็นตามดที่ผิวเกิดจากการกดอัดและการล้าที่ผิวเฟือง



แก้ไขโดย
กัดฟันเฟืองให้มีรูปร่างใกล้เคียงกับ involuteและ profile มากที่สุด
ลด dynamic loadsเป็นต้น

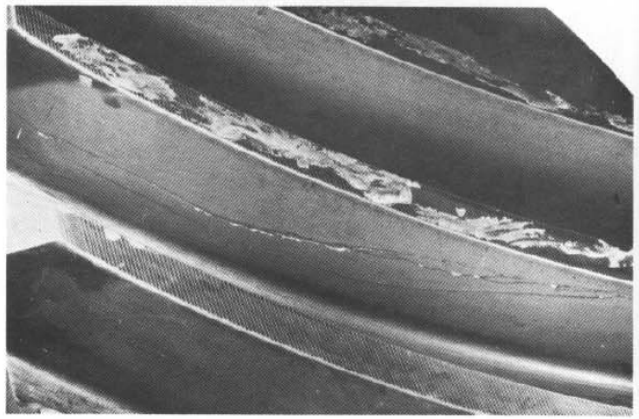
We are
Engineers



Pitting อย่างรุนแรง
เกิดจาก pitting หรือหลุมเล็กที่
ผิวเกิดจากการกดอัดและการล้าที่
ผิวเฟืองแล้วหลุมเล็กที่ผิวจะขยาย
ให้เป็นหลุมใหญ่จนเสียหาย
หรือเกิดoverload

วิธีแก้ไขคือเลือกวัสดุที่มีค่าความแข็งมากเพียงพอ

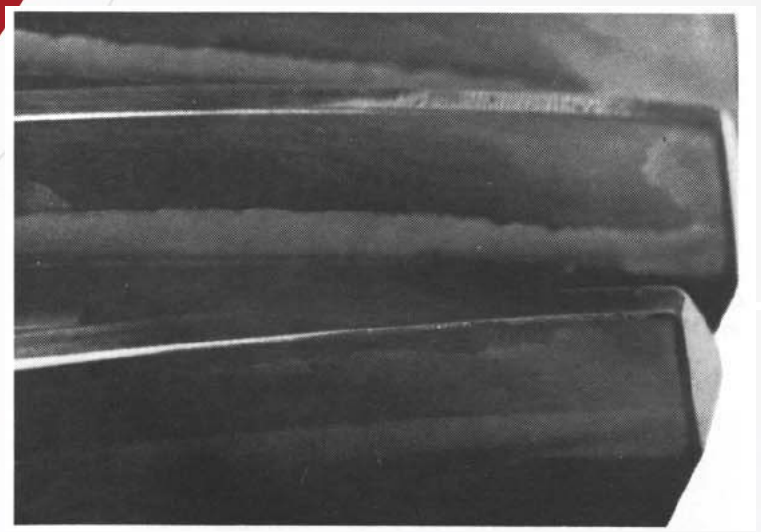
We are
Engineers



ผิวฟันเฟืองที่ผ่านการชุบแข็งเสียหายแตกร้าวเป็นรอย
ร้าวตามแนวยาวเนื่องจาก overloads

สาเหตุ
เริ่มเกิดรอยร้าวใต้ผิวฟันเฟือง
แก้ไขได้โดยเพิ่มความแข็ง

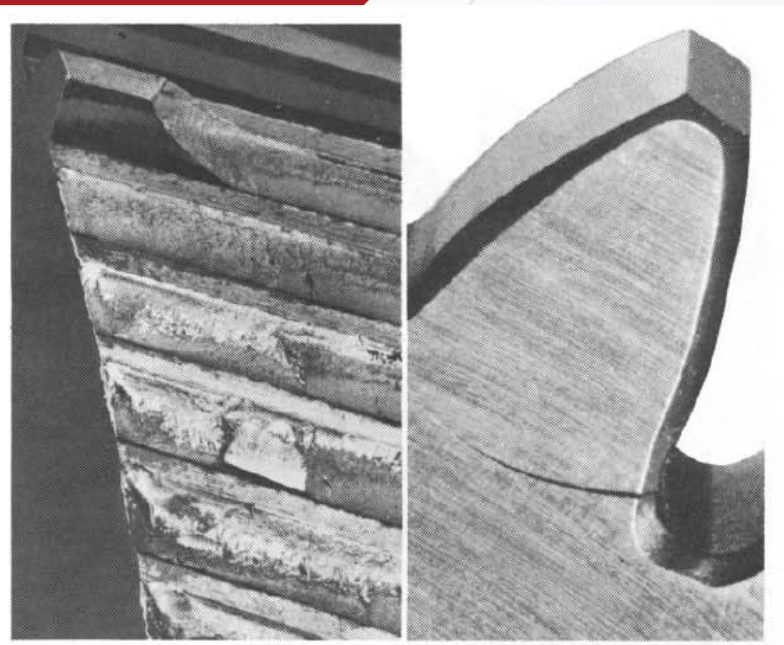
We are
Engineers



Scoring ผิวฟันเฟืองเป็นรอยสึกจะเห็นเป็นหลุมและบางส่วนพอกนูนเกิดจากขาดน้ำมันหล่อลื่นทำให้ผิวโลหะแตะอัดกันขณะเฟืองขบส่งถ่ายกำลัง

We are
Engineers

Tooth Fracture



Beam Bending Fatigue: (right) This aircraft power spur gear shows a fatigue crack caused by stresses at the root fillet.

Beam Bending Fatigue: (left) Each failed tooth started at a crack that had been in progress for some time. All the failed teeth show evidence of fretting corrosion and typical beach marks common to this kind of failure. Undoubtedly one tooth broke away first, causing an impact that then quickly broke the remainder of the teeth.

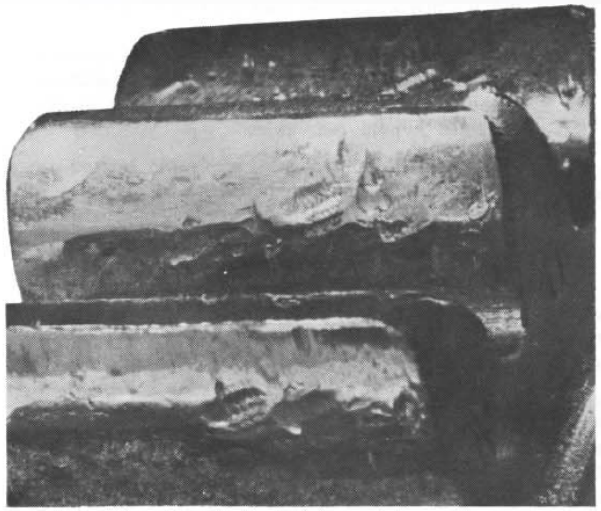
การแตกหักของฟันเฟืองหรือหักบางส่วนของฟันเฟืองมักเกิดจาก overload สูงกว่าค่า Endurance limit มาก

การแก้ไขให้เลือกวัสดุที่มีค่าความแข็งแรงสูง

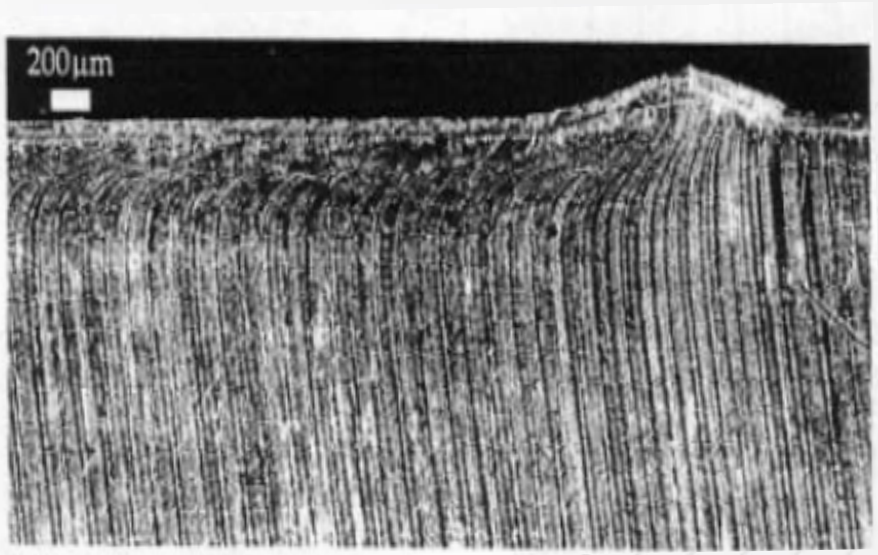
We are Engineers

Plastic Flow

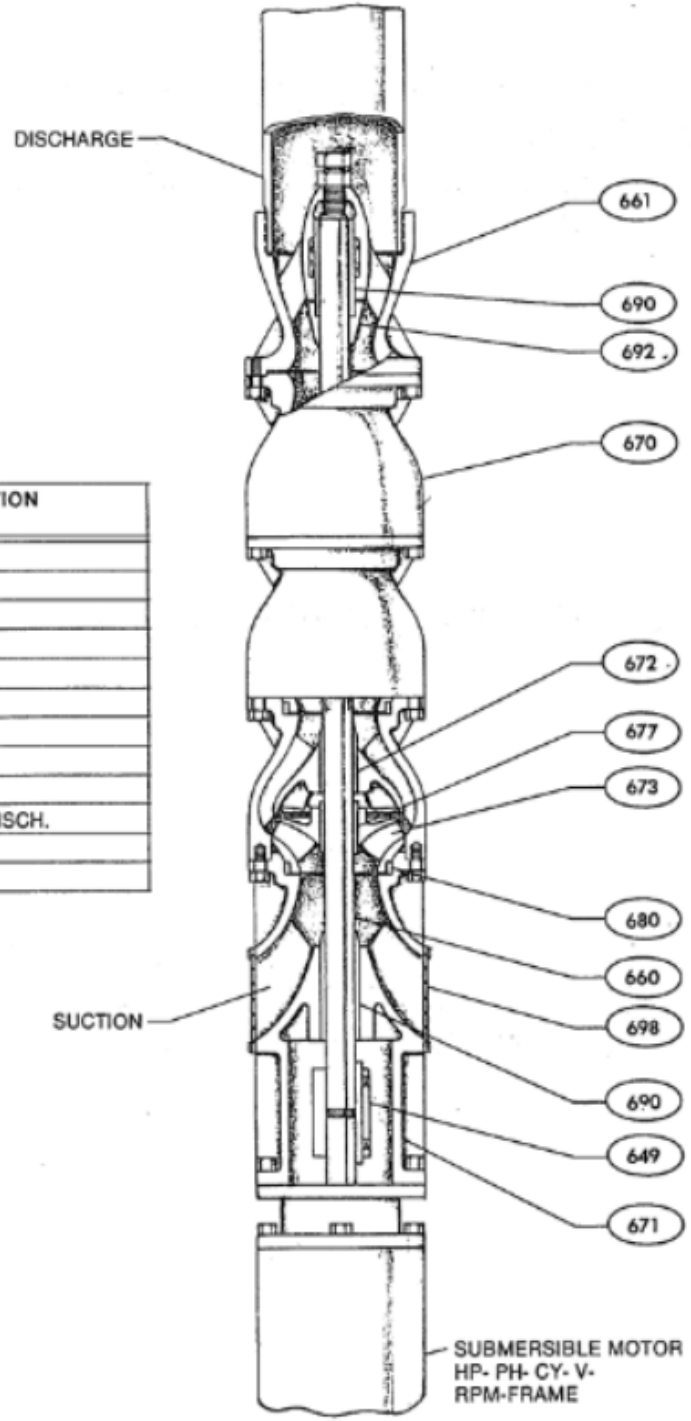
การไหลของชั้นเนื้อวัสดุเนื่องจาก contact stress ที่เกิดขึ้นสูงมากเลย ช่วง elastic อยู่ในช่วง plastic พาเนื้อวัสดุขณะฟันฟืองเคลื่อนที่ วิธีแก้ไขคือเลือกวัสดุที่มีความแข็งมากเพียงพอ



Cold Flow: This medium-hard spur gear shows signs of bad surface deformation due to rolling and peening action. This gear was operated long after the initial surface distress occurred, resulting in a battered cold-worked surface.



การเสียหายของเพลาเครื่องสูบน้ำ

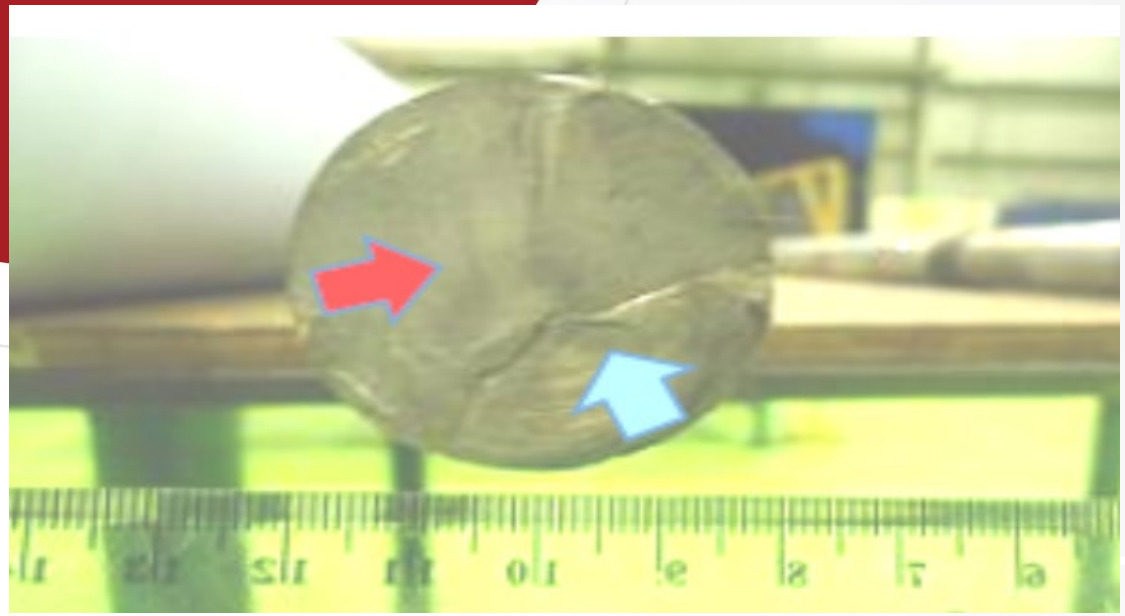


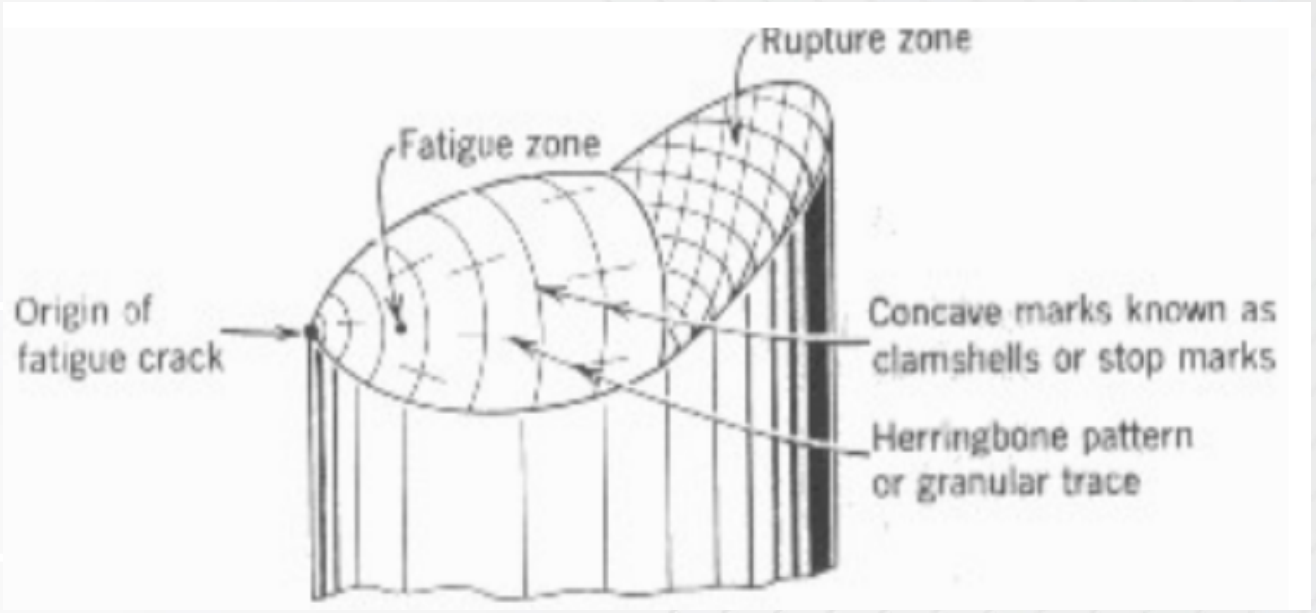
PART NO.	DESCRIPTION
649	COUPLING
660	PUMPSHAFT
661	BOWL DISCH.
670	BOWL INTMD.
671	ADAPTER SBM
672	BEARING INTMD.
673	IMPELLER
677	TAPER LOCK
680	WEAR RING-BOWL
690	BEARING-SUCTION/DISCH.
692	SAND COLLAR
698	SCREEN SUCTION

Specification of Vertical Centrifugal Pump

No. Stages	*: 5 Stages*
Capacity	*: 1000 GPM*
Head	*: 532 FT*
Liquid Service	*: Ground Water*
SPGR	*: 1,0*
Flow Temperature	*: 25 C at Suction*
Bowl	*: 316 SS*
Impellers	*: 316 SS / Closed impellers*
Pump Shaft	*: 316 SS (Based on pump data sheet)*
Bowl Bearing	*: Bronze (PT Badak use Carbon tape)*
Driver	*: Submersible Electric Motor (PLEUGEUR Manufacturer)*
RPM	*: 2900*
Power	*: 75 KW*

We are
Engineers





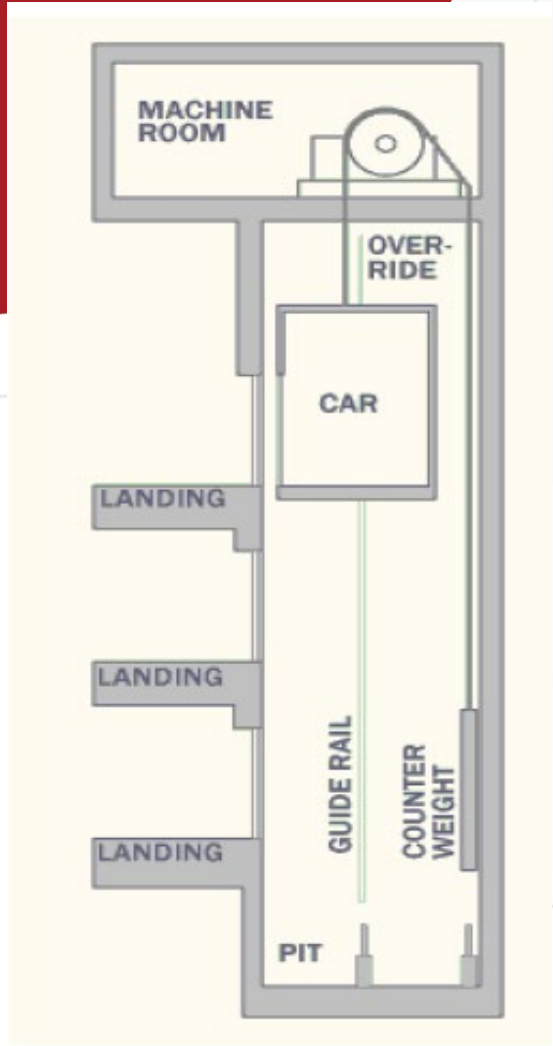
Failure modes เริ่มจากเกิดรอยร้าวด้านล่าง ความเสียหายประกอบด้วยพื้นที่ส่วนที่เกิด Plastic deformation ส่วนที่รอยขาดเหมือน brittle fracture และส่วนที่เสียหายเนื่องการล้า

Failure Zone

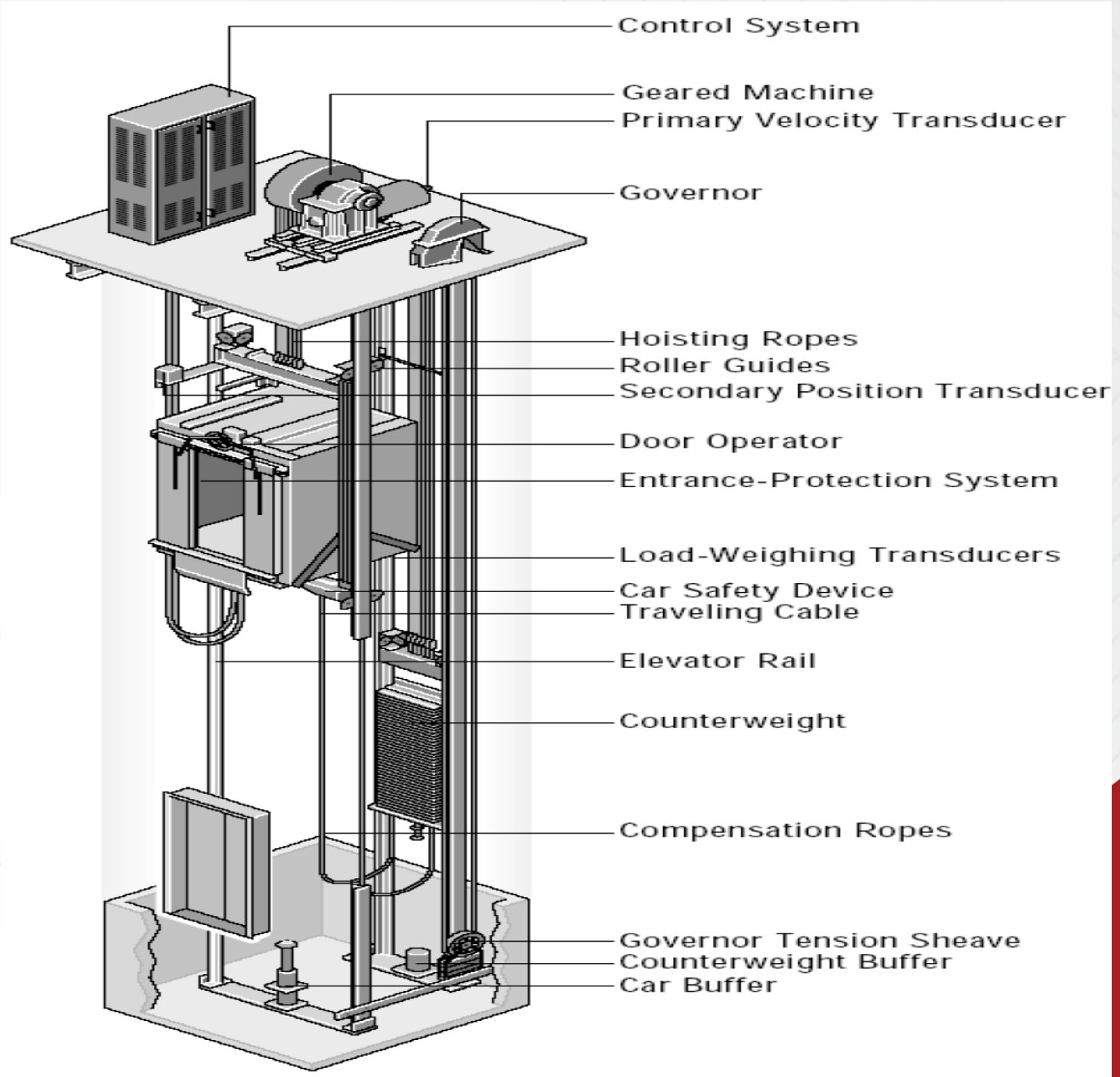
เริ่มจากรอยร้าวที่มีขาดเล็กที่ผิวหรือในเนื้อเพลาแล้วรอยร้าวจะขยายจนขนาดของเพลาไม่สามารถรับค่าความล้าได้เพียงพอก็จะเกิดความเสียหายแบบทันทีทันใด

We are
Engineers

ลิฟต์



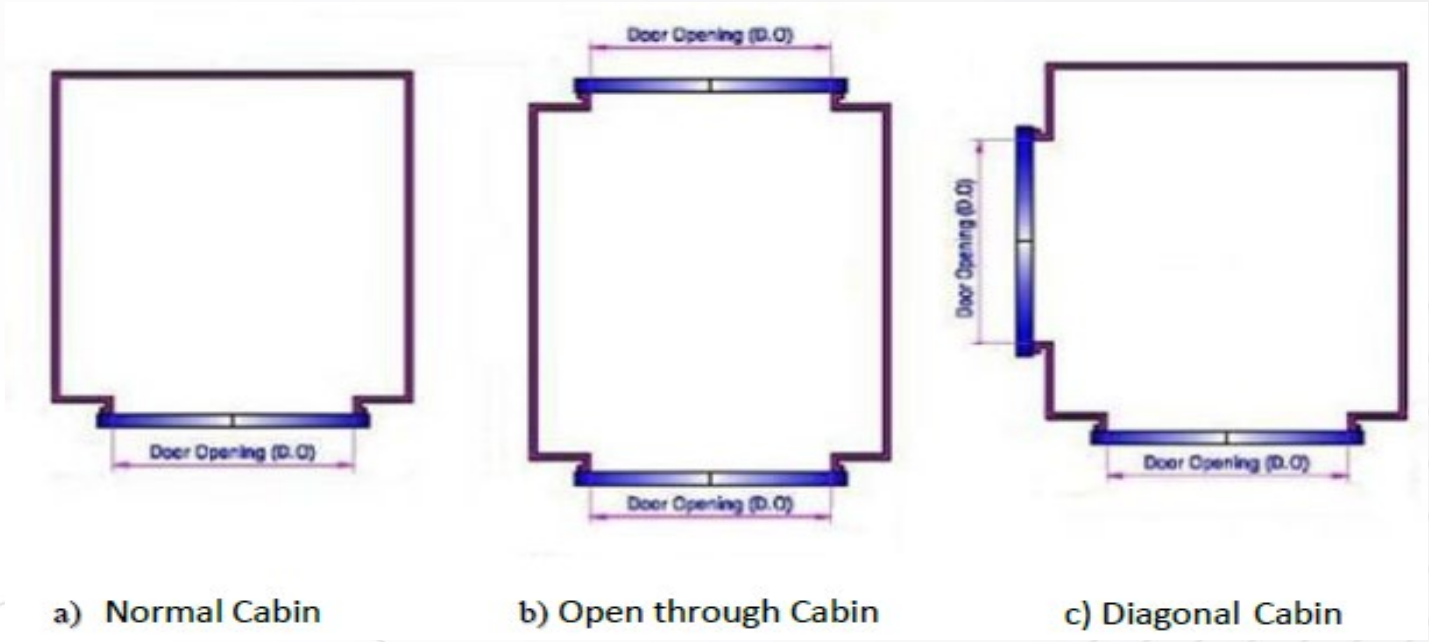
Traction Elevator with Machine Room



We are Engineers

Numbers of passengers = rated load /75

Where 75 represent the average weight of a person in Kg



a) Normal Cabin b) Open through Cabin c) Diagonal Cabin

Elevator Car Types

We are Engineers

Machine/drive system

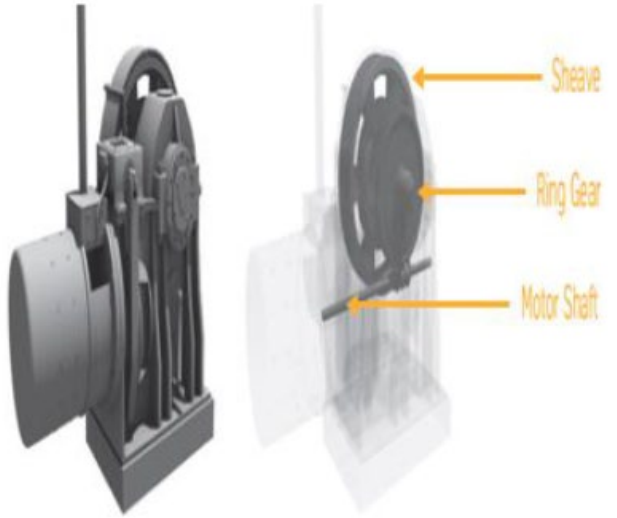
i. Dc drive:

ii. AC motor:

iii. Variable Voltage Variable Frequency (VVVF) the most widely

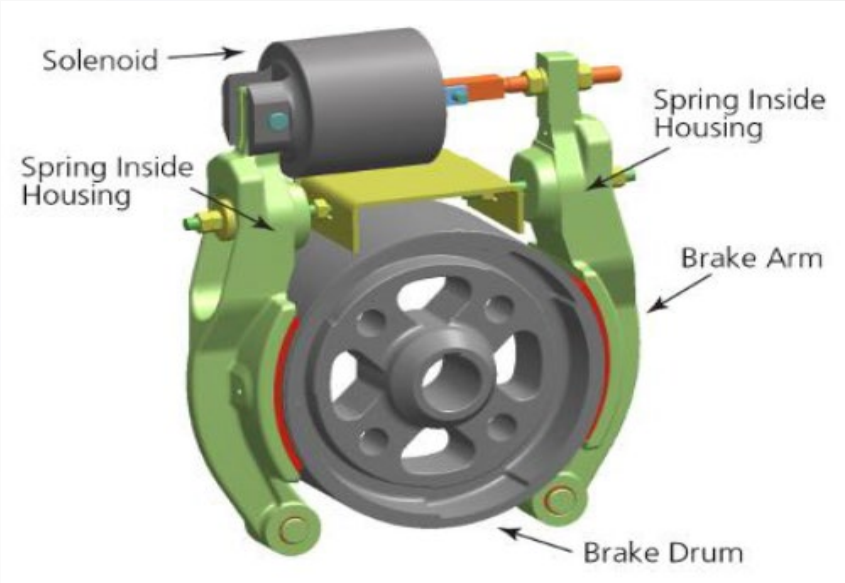
a) Geared machine

Figure 2.9 Gearless Machine.



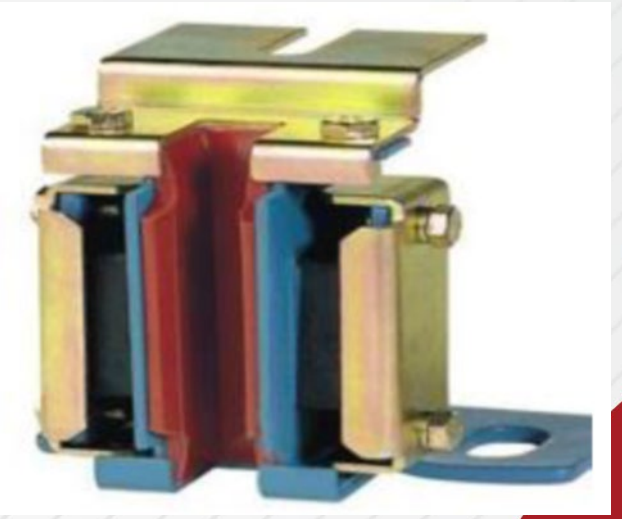
b) worm gear system in geared machine

We are
Engineers



Brake

Roller guides



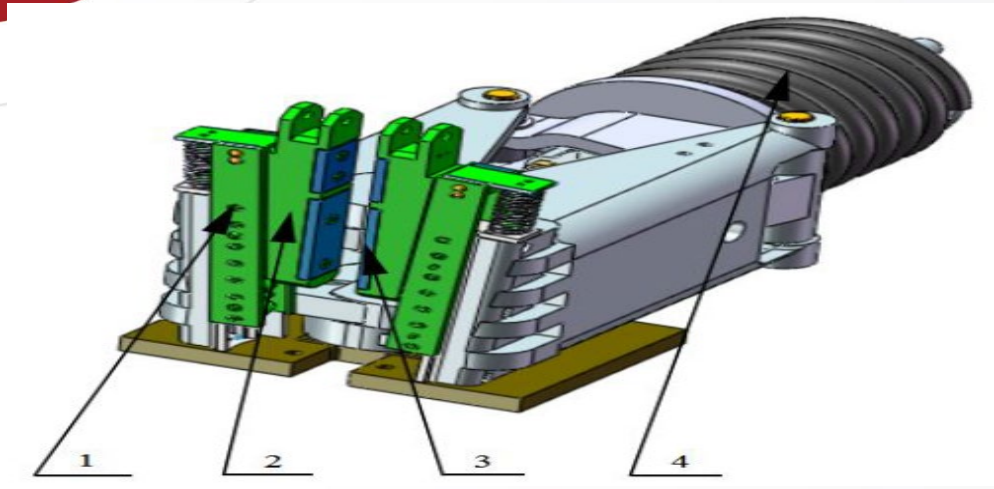
sliding guides

We are Engineers

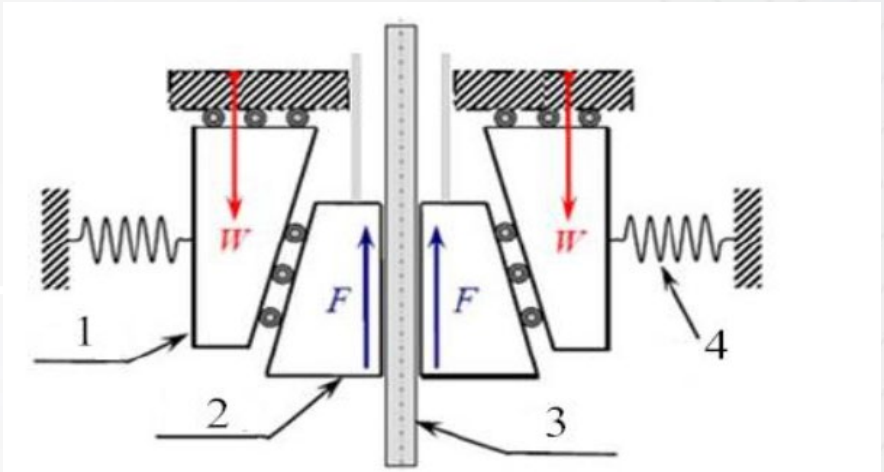
Counterweight

40- 50% of the rated load

ELEVATOR SAFETY GEAR



1- bearing 2- wedge 3- breaking material 4- spring



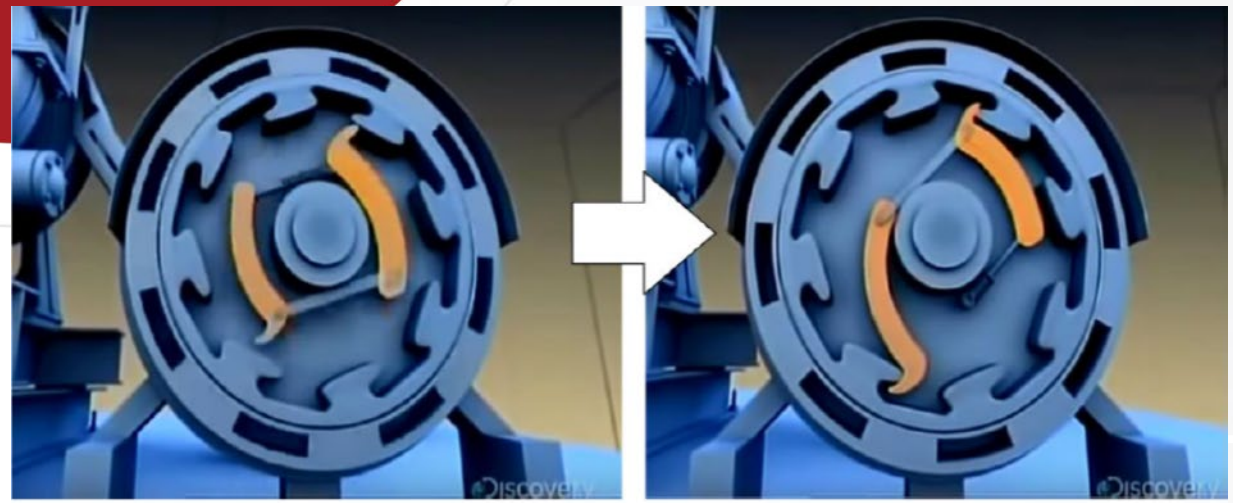
1- gear 2- wedge 3- rail 4- spring

Structural diagram of high-speed elevator safety gear

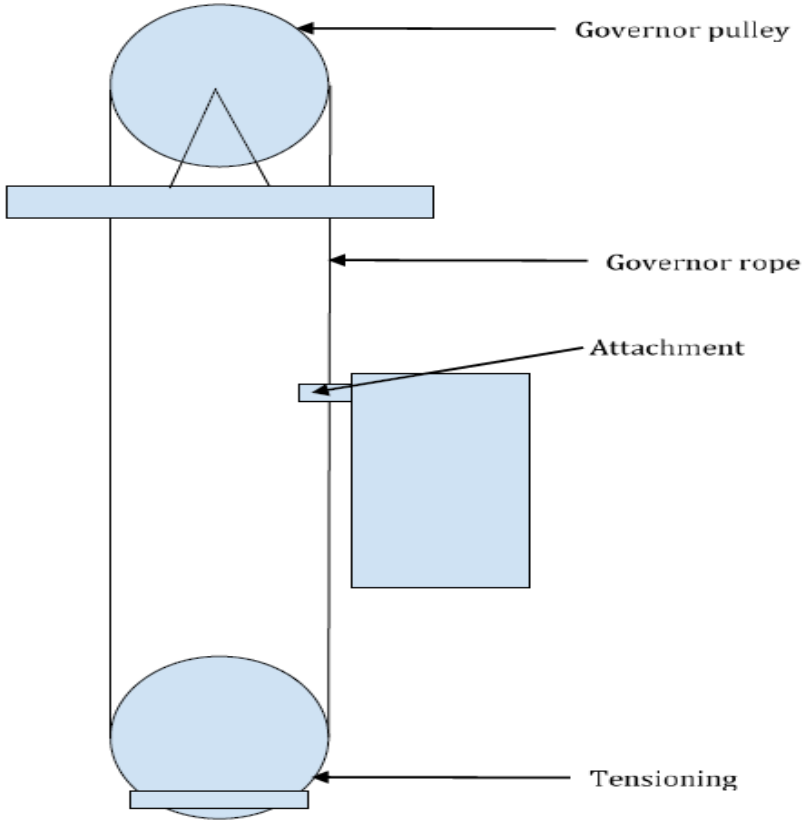
We are
Engineers

Overspeed Governor System Arrangement

Safeties are activated by a governor when the elevator moves too quickly (if the car speed exceeds 110% of its rated value as the car speeds up,



Overspeed Governor before and after locking



Counterweight

40- 50% of the rated load

We are Engineers

Buffers in the pit

Spring

Oil Type

We are Engineers

ลิฟต์โดยสาร (Passenger Elevator)

ผู้ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามความเร็วของการใช้งาน ได้แก่

ลิฟต์ความเร็วต่ำ (Low Speed) มีความเร็วไม่เกิน 60 เมตรต่อนาที หรือประมาณ 3.6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มักจะใช้ในอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 60 ชั้น

ลิฟต์ความเร็วปานกลาง (Medium Speed) มีความเร็วระหว่าง 90 - 105 เมตรต่อนาที มักจะใช้ในอาคารที่มีความสูงระหว่าง 10 - 25 ชั้น

ลิฟต์ความเร็วสูง (High Speed) มีความเร็วตั้งแต่ 120 เมตรต่อนาทีขึ้นไป มักจะใช้ในอาคารที่มีความสูงมากกว่า 25 ชั้น

We are Engineers

ตัวอย่างลิฟต์เกิดอุบัติเหตุ

อาคารพักอาศัย 27 ชั้น

ลิฟต์มีขนาด 1000 kg ความเร็ว 2.5 m/s

ก่อนเกิดอุบัติเหตุลิฟต์อยู่ชั้น 1 กำลังวิ่งขึ้น

ลิฟต์วิ่งเร็วขึ้นผิดปกติจนวิ่งไปชนฝ้าชั้น 27 เสียหาย

แสดงว่าระบบเบรกไม่ทำงาน

ตรวจส่วนผสมของผ้าเบรกเห็นว่าไม่ถูกต้องตามตารางที่ 1

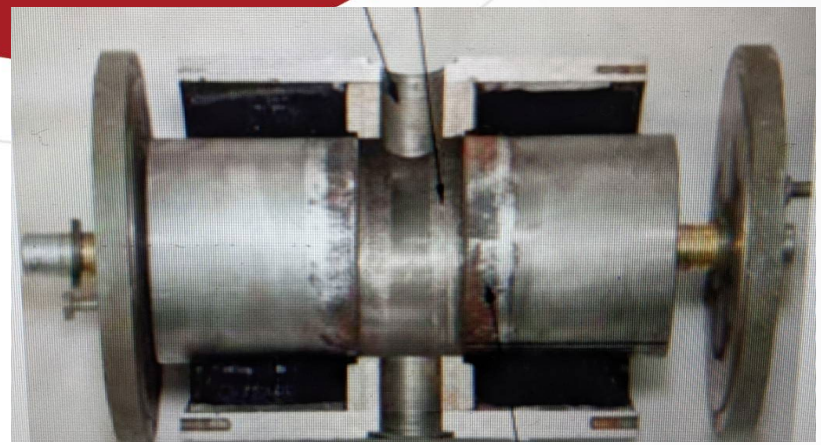


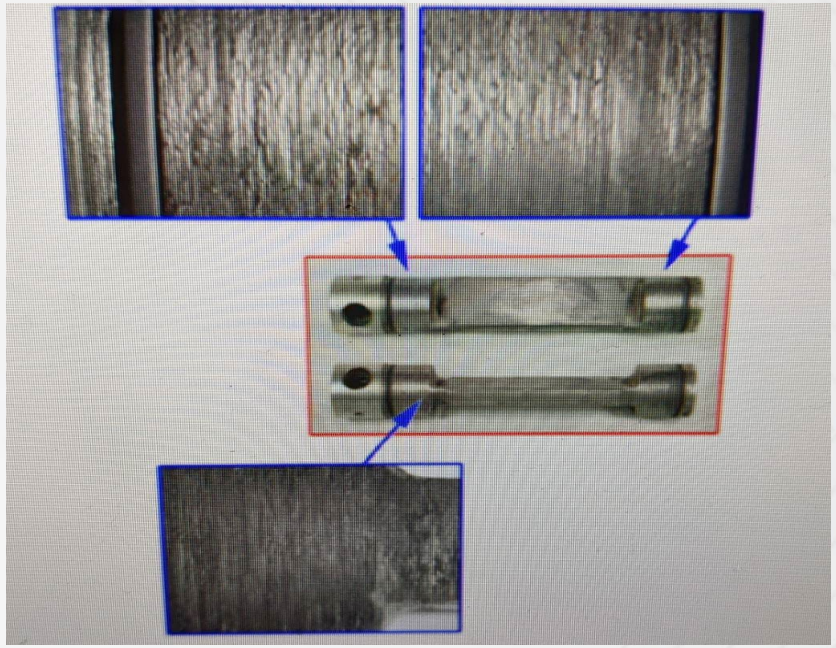
Table1. The chemical analysis results

(wt%)

Element	C	S	Si	Mn	P	Cr	Ni	Al	Cu
Plunger	0.096	0.005	0.20	0.48	0.016	0.031	0.018	0.032	0.030
DT4 (GB/T6983-2008)	≤ 0.010	≤ 0.010	≤ 0.10	≤ 0.25	≤ 0.015	≤ 0.10	≤ 0.05	0.20~ 0.80	≤ 0.05

We are Engineers

จากภาพขวามือเห็นว่าเกิดการสึกหรออย่างรุนแรง สึกหรอด้านเดียว ก้านเบรกหลวม



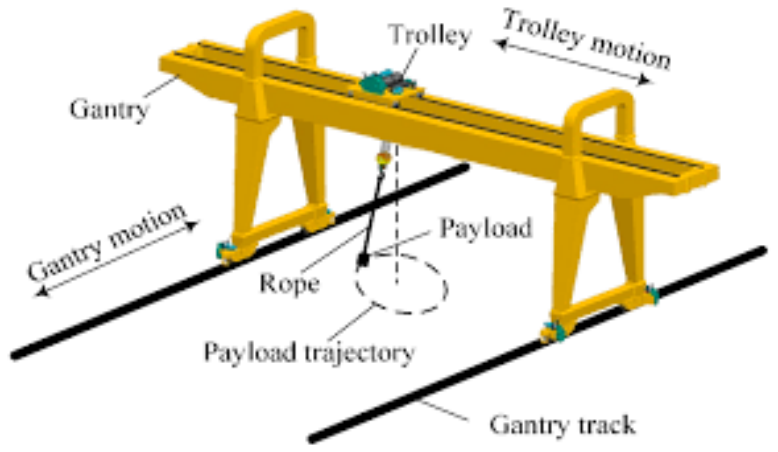
พบรอยสึกหรอแบบยึดติด (adhesive wear)
พบอนุภาคสังกะสีและอนุภาคโลหะอื่น

We are
Engineers

การวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ

1. Adhesive wear จะสูงเมื่อเก้านเบรกหลวม อนุภาคที่หลุดออกเนื่องจากการสึกหรอจะเป็นผลทำให้การสึกหรอยิ่งเร็วขึ้น เป็นผลทำให้อุปกรณ์หนีบเพื่อเบรกของระบบเบรกไม่ทำงาน

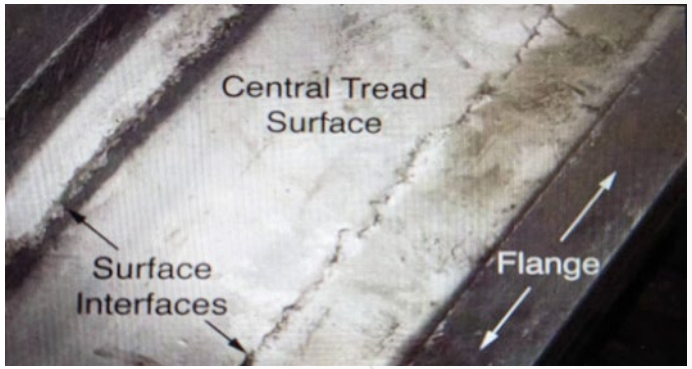
We are Engineers

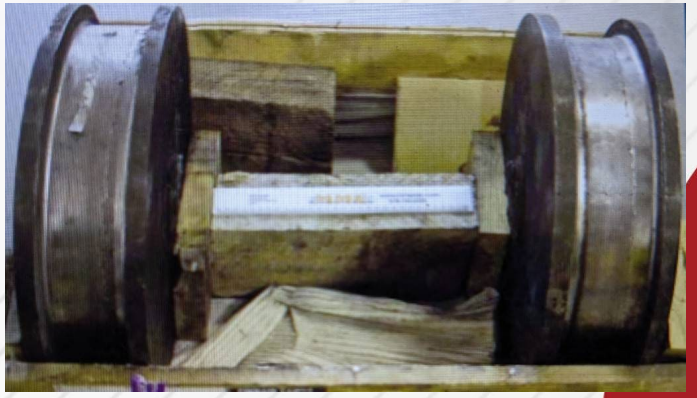


ตัวอย่างล้อเครนทำด้วยวัสดุ harden 1045 steel มีค่าความแข็งเท่ากับ 240 HB

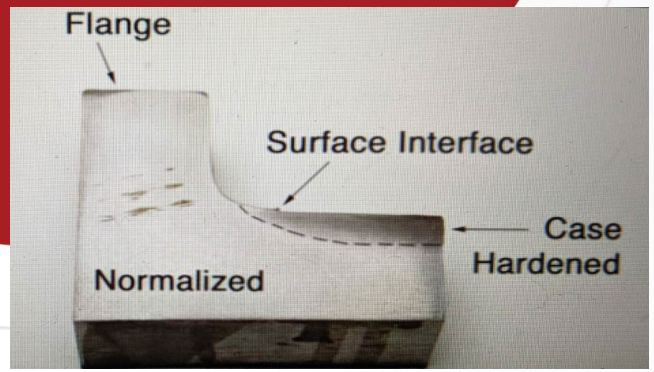
พบความเสียหายที่ผิวกลางล้อ

จากภาพกลไกความเสียหายน่าจะกิดจากRolling contact fatique เพราะล้อเครนเกิดความเสียหายหลุดร่อนที่ผิวเนื่องจาก cyclic stresses

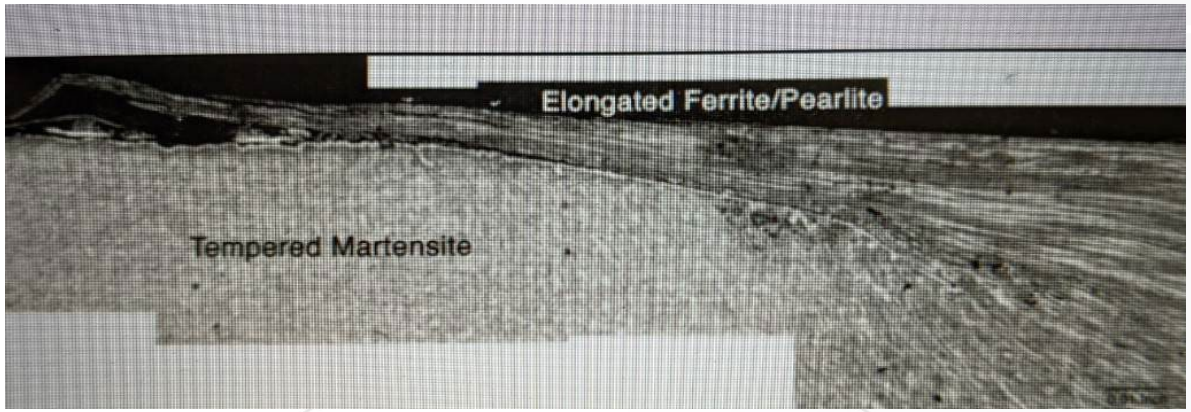




We are
Engineers



จากภาพแสดงล้อเครนผ่านการทำ case hardening และบริเวณกลางเป็นตำแหน่งที่ล้อและรางแตะสัมผัสกัน



จากภาพแสดงโครงสร้างใต้ผิวล้อถูกบดอัด ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างมาก Plastic flow patterns ตามแนวยาวเป็นผลให้เกิดรอยแตกร้าวในแนวตั้งฉาก

We are
Engineers

สาเหตุที่ล้อเครนเกิดรอยแตกร้าวคือการทำ heat treatment หรือทำ case hardening บริเวณตรงกลาง ส่วนบริเวณขอบล้อไม่มีการชุบแข็งที่ผิว บริเวณขอบที่นิ่มก็จะเกิด Plastic deformation ทำให้เกิดรอยแตกร้าวที่รอยต่อทั้งสอง

We are
Engineers

ถาม ตอบ

We are
Engineers

ขอบคุณครับ