

การสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลและการติดตามสภาพ Machine Component's Wear and Monitoring

อนันต์ มินาค¹

1. คำนำ

การสึกหรอเป็นรูปแบบการเสียหายทางกลรูปแบบหนึ่ง ที่เกิดอยู่ตลอดเวลาให้กับชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่สัมผัสซึ่งกันและกัน การสึกหรอของชิ้นส่วนทำให้เกิดความเสียหายและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก การศึกษาเกี่ยวกับการสึกหรอจะเกี่ยวข้องกับศาสตร์ในหลายๆด้าน เช่น การหล่อลื่น และแรงเสียดทาน โดยเรียกรวมๆกันว่า ไทรโบโลยี (Tribology) ในส่วนอุตสาหกรรมภายในประเทศนั้นยังขาดความรู้ความเข้าใจที่ลึกซึ้งในด้านการสึกหรอและการป้องกันการสึกหรอ รวมถึงการแก้ไขปัญหการสึกหรอที่เกิดขึ้นอย่างถูกวิธี เช่น การสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ประกอบอยู่ด้วยกัน หรือการสึกหรอของเครื่องยนต์สันดาปภายในต่างๆ ที่ทำให้เครื่องจักรหรือเครื่องยนต์นั้นๆ สูญเสียประสิทธิภาพในการทำงานไป สาเหตุของการสึกหรอมีอยู่หลายประการ เช่นการหล่อลื่น ค่าความแข็งผิวของชิ้นส่วน ชนิดของวัสดุ ความหยาบผิว ค่าพิถีความถี่ของงานสวม ค่าพิถีความถี่ของขนาดและรูปทรงการประกอบ ที่ไม่เหมาะสม ฯลฯ

วิธีที่ใช้ในการป้องกันความเสียหายจากการสึกหรอวิธีหนึ่ง คือ การตรวจติดตามสภาพเครื่อง (Condition monitoring) เพื่อเก็บข้อมูลสภาพการใช้งานเครื่องจักรกลด้วยกรรมวิธีต่างๆ เช่น ตรวจวัดความสั่นสะเทือน ความร้อน เสียง เศษหรือตะกอนจากการสึกหรอที่สะสมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเทียบกับข้อมูลเดิม เพื่อที่จะทราบว่าขณะนี้เครื่องจักรมีสภาพเป็นอย่างไร และเมื่อไรถึงจะต้องทำการซ่อมบำรุง ซึ่งวิธีนี้จะช่วยลดค่าใช้จ่าย และความเสียหายจากการสึกหรอลงได้อย่างมาก

2. กลไกการสึกหรอ (Wear Mechanisms)

ลักษณะกลไกการสึกหรอตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศเยอรมัน หมายเลข 50320 (DIN 50320) จำแนกออกเป็น 4 ลักษณะใหญ่ๆ ได้ดังนี้

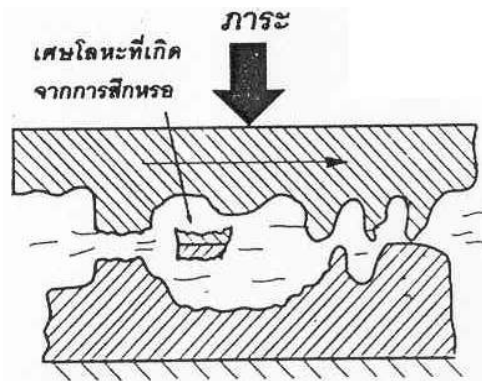
- กลไกการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive wear)
- กลไกการสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive wear)
- กลไกการสึกหรอจากการล้าตัวที่ผิวหน้า (Surface fatigue wear)
- กลไกการสึกหรอแบบปฏิกิริยาไทรโบเคมี (Tribological chemical reaction)

2.1 กลไกการสึกหรอแบบยึดติด

เป็นการสึกหรอที่เกิดการยึดติดกันของยอดแหลมที่ผิวชิ้นส่วนและฉีกขาดตัวออก บางครั้งยอดสูงๆของผิวชิ้นงานก็อาจจะชนกันแตกหักในขณะที่ชิ้นส่วนของเครื่องเคลื่อนที่ เช่น รางเลื่อนมีการยึดติด

หรือเชื่อมติดกัน เรียกว่าการเชื่อมเย็น (Cold-welded) ลักษณะการเกิดการสึกหรอแบบยึดติด ดังแสดงในรูปที่ 1 2 และ 4

สาเหตุที่เร่งให้เกิดการสึกหรอแบบยึดติดคือ การขาดสารหล่อลื่น สารหล่อลื่นไม่เพียงพอไม่ทั่วถึง สารหล่อลื่นมีความหนืดน้อยเกินไป ภาระมีค่าสูงมากเกินไปจนสารหล่อลื่นรับไม่ได้ ความเร็วในการเคลื่อนหรือหมุนต่ำเกินไป ทำให้ไม่สามารถสร้างฟิล์มน้ำมันเพื่อแทรกระหว่างผิวสัมผัสได้



รูปที่ 1 กลไกการสึกหรอแบบยึดติด

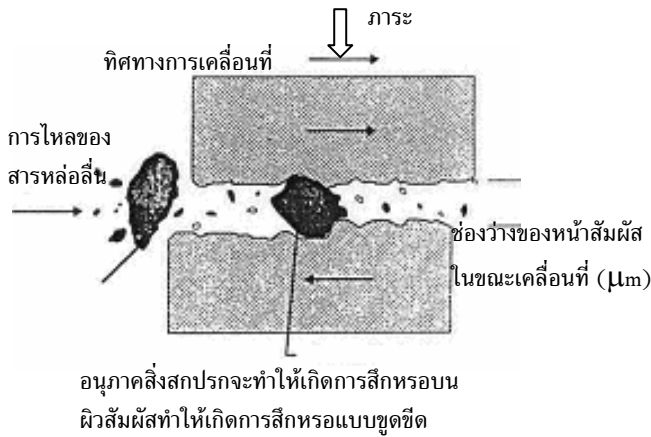


รูปที่ 2 ชิ้นส่วนที่สึกหรอ

2.2 กลไกการสึกหรอแบบขูดขีด

เป็นการสึกหรอที่เกิดจากมีสารที่มีความแข็งสูงกว่าขูดขีดเนื้อเอาเนื้อวัสดุของชิ้นส่วนออกไป เช่น ฝุ่นละออง เม็ดทราย เศษโลหะที่เกิดจากการสึกหรอ ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4

¹ อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



รูปที่ 3 กลไกการสึกหรอบแบบขูดขีด



รูปที่ 4 ร่องเส้นที่สึกหรอ

ดังที่ปรากฏให้เห็นชัดเจน บริเวณรางเลื่อนเครื่องกลึงใกล้หัวจับชิ้นงานที่มักมีการขัดผิวชิ้นงานด้วยกระดาษทรายโดยไม่มีการป้องกันเศษเม็ดทราย และมักมีการเป่าทำความสะอาดเครื่องกลึงด้วยปืนฉีดลม การใช้สารหล่อลื่นที่สกปรก การชุบแข็งผิวสัมผัสที่มีความแข็งแตกต่างกันมากเกินไป สาเหตุดังกล่าวเป็นการเร่งให้เกิดการสึกหรอบแบบขูดขีด

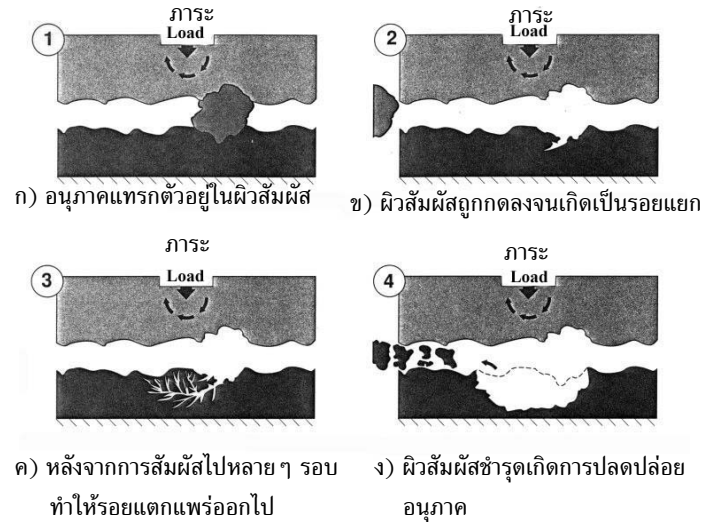
2.3 กลไกการสึกหรอจากการล้าตัวที่ผิวหน้าชิ้นงาน

เป็นการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวและเกิดรอยแตก หรือหลุมบนผิวหน้าวัสดุบริเวณที่มีการล้าตัว เนื่องจากชิ้นงานรับภาระการกดและการดึงสลับกันหรือเกิด ๆ หยุด ๆ ซ้ำทำให้ผิวเกิดการล้าตัวได้เร็ว หรือมีอนุภาคเศษโลหะถูกกดแทรกตัวอยู่ซึ่งเรียกว่า การรับภาระเป็นวงจร (Stress cycles) ดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6

2.4 กลไกการสึกหรอบแบบปฏิกิริยาไทรโบเคมี

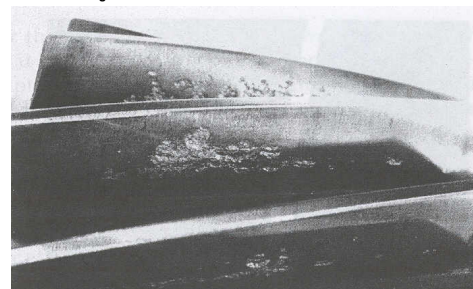
เป็นการสึกหรอที่เกิดจากการขัดสี (Tribo) และปฏิกิริยาเคมี (Reaction) โดยเฉพาะปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยังมีกลไกการสึกหรอบแบบยึดติด แบบขูดขีด ร่วมกันอยู่ด้วยและสามารถอธิบายการเกิดไทรโบเคมีคอลแอคชั่นที่ข้อต่อโซ่ที่ไม่มีการหล่อลื่นโดยบริเวณข้อโซ่จะมีการสึกหรอบแบบยึดติดและมีขนาดเล็กลง เมื่อใช้งานมีการขัดสีเกิดเศษเหล็กและบริเวณใช้งานเกิดความร้อนความชื้นทำให้เกิดการสึกหรอบแบบขูดขีด ยังมีลักษณะชิ้นส่วนอีกหลายชนิด ดังแสดงในรูปที่ 7 ได้แก่ ข้อต่อโซ่เพลาสปาย (Spline) แหนบรอนยนต์ ผิวนอกของดัลลูปป็นที่สวมกับตัว

เรือนหรือผนังเครื่อง เพลาที่สวมกับรูตลับลูกปืน รูเฟือง รูล้อสายพาน ที่หลวมได้เพียงเล็กน้อย ก็เกิดการสึกหรอบแบบปฏิกิริยาไทรโบเคมีขึ้นได้ โดยจะสังเกตเห็นฝุ่นสนิมหรือน้ำมันสีฝุ่นสนิมไหลออกมาจากบริเวณที่สึกหรอ ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8

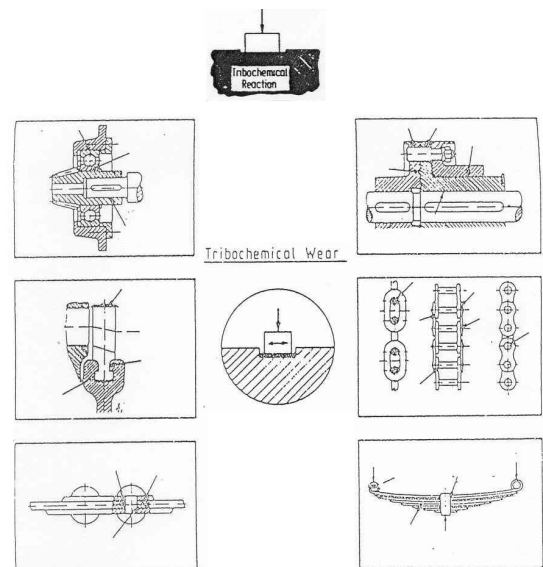


ก) หลังจากการสัมผัสไปหลาย ๆ รอบ ข) ผิวสัมผัสถูกลดจนเกิดเป็นรอยแยก
ค) หลังจากการสัมผัสไปหลาย ๆ รอบ ง) ผิวสัมผัสชำรุดเกิดการปลดปล่อยอนุภาค
ทำให้รอยแตกแพร่ออกไป

รูปที่ 5 กลไกการสึกหรอบแบบล้าตัว



รูปที่ 6 เฟืองเกิดการสึกหรอบแบบการล้าตัวที่ผิวหน้า



2.5 ลักษณะการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

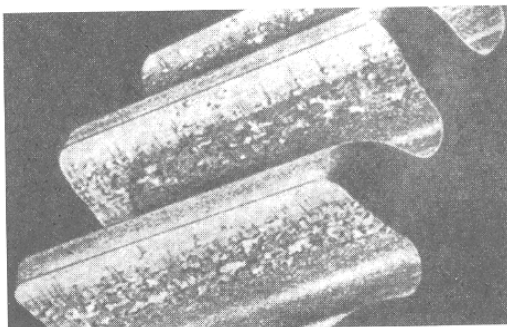
- 1) การสึกหรอระหว่างโลหะหรือการสึกหรอแบบโกลในกรณีที่มีสารหล่อลื่น
- 2) การสึกหรอแบบโกลในกรณีที่ไม่มีสารหล่อลื่น
- 3) การสึกหรอแบบขัดถูซึ่งเป็นการสึกหรอจากผิวหรืออนุภาคแข็งที่มากกระทำ
- 4) การสึกหรอที่เกิดจากความล้าและการสึกหรอแบบถูดุด (Fatigue และ Fretting wear)



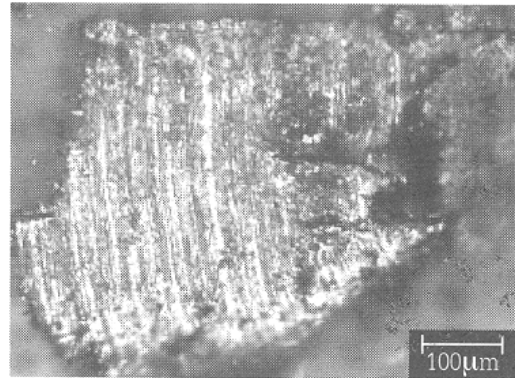
รูปที่ 8 รูเฟืองที่สึกหรอ



รูปที่ 9 เพลที่สึกหรอ



รูปที่ 10 ฟันเฟืองที่สึกหรอ



รูปที่ 11 อนุภาคเศษโลหะ



รูปที่ 12 เฟืองที่มีการสึกหรอแบบล้าตัว



รูปที่ 13 ใส่กรองน้ำมันหล่อลื่น

3. การป้องกันการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล

การป้องกันการสึกหรอ คือ การเพิ่มความสามารถในการต้านทานการสึกหรอให้กับชิ้นงานหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรกล โดยเฉพาะพื้นผิวภายนอก เพราะการสึกหรอทำได้หลายวิธีแต่สิ่งที่จะต้องทราบเบื้องต้น คือ ชิ้นส่วนเกิดการสึกหรอด้วยกลไกการสึกหรอแบบใดเป็นหลัก ที่ทำให้มีอัตราการสึกหรอมากที่สุด และกลไกการสึกหรอแบบใดที่มีส่วนร่วมด้วย เพื่อจะได้ใช้เป็นข้อมูลในการป้องกัน

การป้องกันการสึกหรอโดยทั่วไปสามารถทำได้ ดังนี้

1) การเลือกใช้วัสดุ วัสดุต้องมีคุณสมบัติต้านทานการสึกหรอ และมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับการใช้งานด้วย วัสดุมีหลายประเภท เช่น เหล็กหล่อ เหล็กกล้า โลหะผสม เซรามิก เซอร์เมต และโพลิเมอร์ เป็นต้น

2) การออกแบบชิ้นส่วน ต้องให้เกิดการสึกหรอน้อยที่สุด โดยคำนึงถึง รูปทรง ความหยาบผิว ขนาดช่องว่าง ค่าพิทังงานสวม และการลดพื้นที่สัมผัสของวัสดุที่เสียดสีกันเป็นต้น

3) การใช้วิศวกรรมพื้นผิว เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงลดการเปลี่ยนรูปของผิวชิ้นส่วน และมีความสิ้นเปลืองช่วยลดแรงเสียดทาน ให้กับผิวของชิ้นส่วนบริเวณที่มีการเสียดสี โดยการสร้างชั้นผิวเคลือบหรือชั้นผิวแข็ง ซึ่งจะทำให้ขนาดของผิวชิ้นงานเพิ่มขึ้น วัสดุเคลือบจะมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เช่น การเคลือบฟอสเฟต (Phosphate coating) การชุบเคลือบด้วยโครเมียมแข็ง (Hard chromium plating) การเชื่อมพอกผิว (Surface welding) การพ่นเคลือบวัสดุเคลือบโดยใช้เปลวความร้อน (Thermal spraying) และการเคลือบด้วยไอกายภาพ (Physical vapour deposition: PVD) การเคลือบด้วยไอเคมี (Chemical vapour deposition: CVD) และการปรับสภาพผิวเดิม โดยการปรับเปลี่ยนด้วยความร้อนโดยเทคโนโลยีการอบชุบ (Heat treatment) ในกลุ่มของการชุบผิวแข็ง (Surface hardening) เช่น การชุบแข็งด้วยเปลวไฟ (Flame hardening) การทำคาร์บูไรซิง (Carburizing) และการทำไนไตรดิ้ง (Nitriding) เป็นต้น

4) การควบคุมภาวะการใช้งาน ที่มีผลต่อการสึกหรอ เช่น ความเป็นกรด-ด่าง ความร้อน ความชื้น การสั่นสะเทือนที่ผิวสัมผัส ฝุ่นละออง การใช้และการบำรุงรักษาอย่างถูกต้อง เป็นต้น

4. การติดตามสภาพการสึกหรอ

ในระบบโทรโบโลยี นักวิเคราะห์โทรโบโลยีจะศึกษาระบบการทำงานของชิ้นส่วนทางกล ห้องเพื่องทดสอบ เครื่องจักรกลการผลิต ห้องเครื่องยนต์ เป็นต้น เพื่อศึกษาถึงกลไกการสึกหรอ สาเหตุของการสึกหรอแบบต่าง ๆ วิธีการวิเคราะห์ถึงกลไกที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพหรือการสึกหรอนั้น ซึ่งใช้เครื่องมือและอุปกรณ์หลากหลายตามวิธีต่าง ๆ ดังนี้

4.1 วิเคราะห์โดยตรงผิวชิ้นงานในขั้นต้น เป็นวิธีขั้นต้นอย่างง่ายโดยใช้ประสาทสัมผัสเบื้องต้น เช่น ใช้นิ้วสัมผัส ตรวจสอบด้วยสายตาที่ผิวชิ้นงานและบริเวณรอบ ๆ เกี่ยวกับเศษที่เกิดจากการสึกหรอว่าเกิดจากบริเวณใดมากน้อยหรือรุนแรงเพียงใด ใช้จุ่มกตมกลั่นเพื่อเป็นข้อมูล ใช้หูฟังเสียงในกรณีที่ติดตามขณะเครื่องจักรยังทำงานอยู่

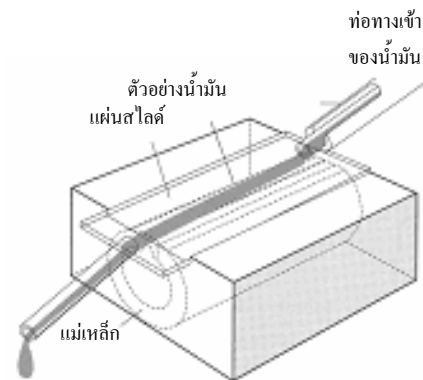
4.2 วิเคราะห์โดยตรงผิวชิ้นงานในขั้นที่ 2 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM: Scanning Electron Microscope) เป็นกล้องที่มีกำลังขยายตั้งแต่ 20-30,000 เท่า ตรวจสอบการสึกหรอของผิวชิ้นงาน

4.3 การวิเคราะห์เศษโลหะจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เป็นการวิเคราะห์ถึงปริมาณ รูปร่าง ชนิดเศษโลหะที่เกิดการสึกหรอ เพื่อติดตามสภาพการสึกหรอและสามารถระบุชิ้นส่วนที่สึกหรอได้จากชนิดของเศษโลหะ การเก็บเศษโลหะโดยเฉพาะเศษเหล็ก โดยการใช้ก้อนแม่เหล็กถาวรติดตั้ง

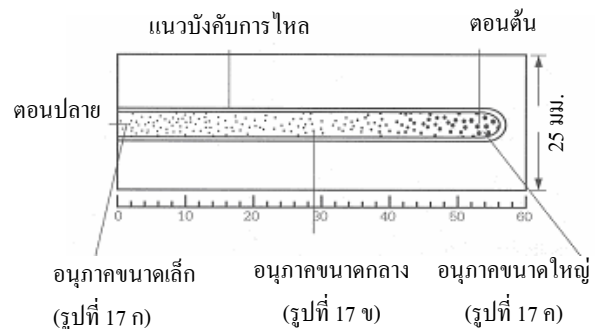
บริเวณก้นอ่างน้ำมันหล่อลื่น หรือตามทางเดินน้ำมันหล่อลื่นก็สามารถนำเศษมาตรวจได้



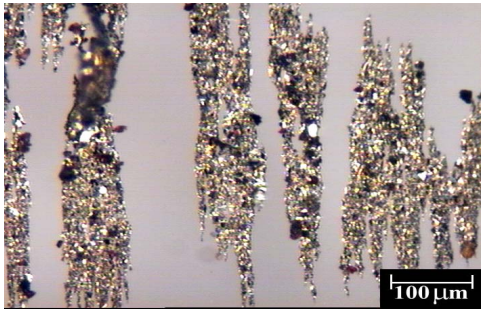
รูปที่ 14 เศษเหล็กจากการสึกหรอของพื้นเฟือง



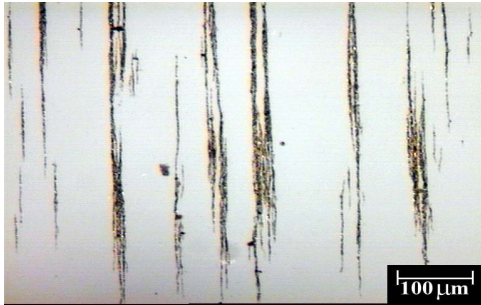
รูปที่ 15 หลักการทำงานของเฟอร์โรกราฟฟี



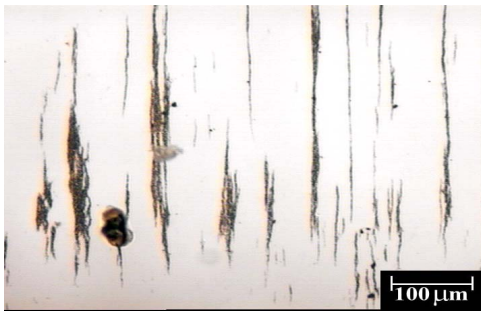
รูปที่ 16 ลักษณะการกระจายตัวของเศษโลหะบนแผ่นสไลด์จากเฟอร์โรกราฟฟี



ก) อนุภาคขนาดใหญ่



ข) อนุภาคขนาดกลาง



ค) อนุภาคขนาดเล็ก

รูปที่ 17 อนุภาคของเศษโลหะขนาดต่างๆ บนแผ่นสไลด์

4.4 การวิเคราะห์เศษโลหะจากไส้กรองน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ไส้กรองน้ำมันหล่อลื่นหรือน้ำมันไฮดรอลิกมีหน้าที่กรองสิ่งสกปรกและเศษโลหะออกจากน้ำมันหล่อลื่น เพื่อช่วยลดการสึกหรอ ไส้กรองเป็นที่สะสมรวบรวมข้อมูลที่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้ ตั้งแต่ความรุนแรงของการสึกหรอ ชิ้นส่วนใดบ้างที่สึกหรอ โดยการนำเศษโลหะไปทำการวิเคราะห์ ถ้าโลหะในกลุ่มเหล็กอาจบอกได้คร่าวๆ ว่ามาจากแบร้งลูกกลิ้งหรือชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็ก ถ้าโลหะนอกกลุ่มเหล็ก เช่น อะลูมิเนียม อาจมาจากชิ้นส่วนที่ทำจากอะลูมิเนียม แบร้งกัป เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 13

5. สรุป

การสึกหรอ หมายถึงการสูญเสียเนื้อสารจำนวนหนึ่งออกไปจากชิ้นวัตถุโดยไม่ปรารถนา สาเหตุของการสึกหรอมีหลายประการ และมักจะเกิดจากหลายสาเหตุพร้อมๆ กัน

กลไกการสึกหรอจำแนกได้ 4 รูปแบบ คือ การสึกหรอแบบยึดติด การสึกหรอแบบขูดขีด การสึกหรอจากการล้าตัวที่ผิวหน้า และ

การสึกหรอแบบปฏิกิริยาไทรโบเคมี ส่วนลักษณะการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรจะจำแนกได้ 4 รูปแบบ คือ การสึกหรอระหว่างโลหะหรือการสึกหรอแบบไฮโดรไลซิสที่มีสารหล่อลื่น การสึกหรอแบบไฮโดรไลซิสที่ไม่มีสารหล่อลื่น การสึกหรอแบบขัดถูซึ่งเป็นการสึกหรอจากผิวหรืออนุภาคแข็งที่มากระทำ การสึกหรอที่เกิดจากความล้าและการสึกหรอแบบถูครูด

การป้องกันการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรจะทำได้ด้วยการเลือกใช้วัสดุ การออกแบบชิ้นส่วน การใช้วิศวกรรมพื้นผิว การควบคุมสภาพการใช้งาน

การติดตามสภาพการสึกหรอจะวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ได้หลายชนิด เช่น วิเคราะห์โดยตรวจผิวชิ้นงานในชั้นต้น วิเคราะห์โดยตรวจผิวชิ้นงานในชั้นที่ 2 การวิเคราะห์เศษโลหะจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และการวิเคราะห์เศษโลหะจากไส้กรองน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

การสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลในภาคอุตสาหกรรมที่พบเห็นเป็นประจำ ได้แก่ เพลาสึกหรอเสียหาย ฟันเฟืองสึกหรอรุนแรง ตลับลูกปืนสึกหรอมากและชำรุด รูเฟือง รูล้อสายพาน ร่องลิ้ม เพลา สาย ฯลฯ สิ่งต่างๆ เหล่านี้ทำให้เสียเวลาการผลิตและเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ถ้าสามารถป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนดังกล่าวเกิดการสึกหรอได้จะเป็นการประหยัดอย่างมาก โดยการนำความรู้ในวิชาต่างๆ มาใช้ในการป้องกันการสึกหรอ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุพล ราษฎร์นุ้ย. วิศวกรรมการบำรุงรักษา. บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ: 2545, ISBN 974-534-692-6
- [2] ปณิตดา นรินทล้าพงศ์. การสึกหรอในงานอุตสาหกรรม. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ: 2547, ISBN 974-443-047-8
- [3] Michael J Neale., "The Tribology Handbook second edition", Butterworth Heinemann, 1995
- [4] Ernest Rabinowicz., "Friction and Wear of Materials second edition", A Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons, Inc, 1995