

Tribomonitorointi täydentää voiteluöljyanalyysin

Öljyanalyysi on tehokas kunnonvalvonnan työkalu oikein käytettynä. Silti usein tyydytään vaillinaiseen öljyanalyysiin, jolloin tärkeä osa helposti saatavissa olevasta tiedosta jää täysin havaitsematta ja hyödyntämättä. Jos tuntuu siltä, että perusöljyanalyysit eivät anna riittävän selkeää informaatiota koneen kulumisesta ja öljyn kunnosta, kannattaa miettiä tribomonitorointia mikroskooppilla.



Tribomonitoroinnissa tutkittavan kohteen väliaine, esimerkiksi voiteluöljy, suodatetaan kalvo-suodattimen läpi ja suodattimelle jäänyttä materiaalia tarkastellaan vaikkapa tavallisella valomikroskooppilla. Kuluminen on mikroskooppinen ilmiö, eivätkä kulumahiukkaset ole paljaalla silmällä näkyviä, ainakaan ennen kuin vaurioprosessi on edennyt lähes katastrofaaliseen vaiheeseen. Siksi visuaaliseen monitorointiin tarvitaan aina jokin suurentava apuväline.

Tässä lyhyessä artikkelissa raapaistaan vain hieman pintaa ja tarkastellaan ainoastaan erilaisia metallisia kulumahiukkasia ja niiden syntä. Muut mikroskooppilla havaittavat tribomonitoroinnin kohteet kuten esimerkiksi ei-metalliset, kovat ja kuluttavat epäpuhtaushiukkaset, tribo- eli kitkapolymeerit, submikroniset epäpuhtaudet, perusöljyn kunto ja lisäaineiden erottuminen perusöljystä, jäävät lähes kokonaan artikkelin ulkopuolelle.

Hiukkaset välittävät viestin

Erilainen räsitus, kuten vierintä, liukuminen, isku, värähtely, korrosio, kavitaatio tai eroosio irrottavat järjestelmän ja komponenttien pinnoista eri kulumismekanismeilla (hionta, väsyminen, tartunta tai tribokemiallinen kuluminen) erimuotoisia hiukkasia, joiden määrää, kokoa, muotoa, pinnan rakennetta, kovuutta, magneettisuutta ja alkuainekoostumusta voidaan tutkia erilaisilla mikroskoopeilla.

Kulumistapa ilmenee hiukkasten muodossa. Tyypillisiä muodon mukaan jaoteltuja kulumahiukkastyyppejä ovat esimerkiksi hitu, hiutale, pallo, lastu, kimppale ja levy.

Eräs kulumistyyppi ei tuota voiteluöljyyn välttämättä lainkaan hiukkasmaista metallia, vaikka öljyssä voi olla korkeat metallipitoisuudet. Tällöin kyseessä on syöpymiskuluminen, tai vielä kuvaavampi termi olisi liukenemiskuluminen. Tämän havaitsemiseksi ICP-spektrometri on erittäin sopiva työkalu. Syöpymiskulumisen eli korroosio-kulumisen eräs muoto on hapettumiskuluminen, joka taas tavallisesti tuottaa hilsemäistä ruostetta öljyyn. Tämä havaitaan tavallisesti tribomonitoroinnissa valomikroskooppilla.

Helpoin tapa monitoroida kulumista on kuvata sitä voimakkuuden mukaan. Kuluminen voidaan karkeasti jakaa 1) normaalikulumiseen, 2) kiihtyneeseen kulumiseen ja 3) voimakkaan epätavalliseen kulumiseen.

Kulumistahan tapahtuu järjestelmässä aina ja ns. normaalin kulumisen ollessa kyseessä tarkoitetaan pääasiassa hiovaa ja hankaavaa kulumista, joka tuottaa hyvin pienikokoista metallia tai metallioksidia, kooltaan noin $<1 \mu\text{m}$ – $<10 \mu\text{m}$. Huom! Vaikka puhutaan normaalista kulumista, ovat nämä syntyneet pienet, välysten ko-

Tribomonitorointi

mikroskooppilla on eräs epäsuorista koneen kuntoanalyysistä, jolla tutkitaan väliaineen kautta kulumametallihiukkasia ja muita voitelua heikentäviä epäpuhtauksia sekä saadaan tärkeää tietoa kulumismekanismeista, kulumisen vakavuudesta, öljyn kunnosta ja voitelukyvyistä, jonka jälkeen on helpompi vähentää kulumista eliminoimalla mahdollisuuksien mukaan havaittuja kulumislähteitä ja estää näin kalliiksi tuleva lisäkuluminen.

koiset, usein kovat tai kovettu- neet hiukkaset haitallisia järjestelmälle aiheuttaen lisäkulumista (kulumisen ketjureaktio) ja niiden poistaminen suodattamalla on ensiarvoisen tärkeää koneen komponenttien eliniän pidentämisen kannalta!

Kiihtyvä kuluminen voi alkaa hitaasti esimerkiksi laakerin vierintäväsymisestä, jolloin syntyy ensin pieniä sileitä hiutaleita ja samaan aikaan voidaan öljystä havaita pieniä pallomaisia metallihiukkasia. Ajan kuluessa öljyyn ilmestyy $>50 \mu\text{m}$ hiutaleita, joiden pinta on usein poimuttunut

ja joiden pinnalla on reikiä. Laakerien syvempien kerrosten väsyminen aiheuttaa öljyyn jo pieniä metallikimpaleita ja voimakasta kulumista indikoivia paksuhkoja, pinnaltaan usein uurteisia levymäisiä metallihiukkasia.

Tribomonitoroinnissa voidaan havaita myös voiteluöljyn voitelukyvyyn heikkeneminen. Esimerkiksi hiutalemaisten kirkkaiden metallihiukkasten määrän lisääntyminen ja hiukaskoon kasvaminen yhdessä liukenemattoman sakan lisääntymiseen (kuva 1) on syy vaihtaa voiteluöljy, vaikka perusöljyanalyysitulosten mukaan öljy olisikin täysin käyttökunnossa. Öljyn vaihtaminen hidastaa lisäkulumista.

Säännöllinen perusöljyanalyysi yhdessä mikroskooppitribomonitoroinnin kanssa antaa

järjestelmän normaalin käyttökunnon (lähtötason) selville. Säännöllisillä analyyseillä jokaisesta kriittisestä järjestelmästä saadaan trendi, jota seuraamalla saadaan kulumisen kiihtymisen esiin ja tulosten sekä kokemuksen karttuessa koneen kunnon seuraaminen ja vaurioiden ennustaminen on yhä tarkempaa.

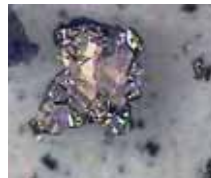
Valoa pimeään

Perusöljyanalyyseillä saadaan runsaasti käyttökelpoista tietoa öljystä, mutta kiihtynyt tai jopa epätavallinen kulumisen jäävät usein havaitsematta ilman valomikroskooppi-tarkastelua tai ferrografiaa. Miten tämä on mahdollista? Tarkastellaan kahta tyypillistä perusöljyanalyysejä: ICP-analyysejä ja hiukkaslaskentaa automaattisella hiukkaslaskimella. Molemmissa analyysimenetelmissä on omat sokeat pisteensä, heikkoutensa, joihin kannattaa tuoda hieman lisää valoa vaikkapa juuri mikroskooppimonitoirinnilla.

Typillinen öljyn kulumametallianalyysi tehdään ICP:llä (induktiivisesti kytketty plasmasppektrometri), jonka teho ei riitä kuin maksimissaan 2-4 µm metallihiukkasten analysoimiseen ilman esikäsitteilyä, vaikka toisinaan kuuluu väitteitä jopa 8-10 µm maksimihiukkaskoosta. Jos öljyanalyyseissä tutkitaan kulumametallit vain ICP-menetelmällä, jää hyvin usein esimerkiksi vaihteisto-, hydraulikka- tai kierto-voitelukohteissa kiihtynyt tai jopa epätavallinen kulumisen täysin havaitsematta! Korkeintaan saadaan viitteitä hieman kohonneista metallimääristä (1-5 ppm), jotka eivät vielä ole lähelläkään kriittisiä hälytysrajoja. Sen sijaan tässä vaiheessa tribomonitoirinnalla voidaan havaita jo runsaasti yli 5-50 µm kokoi-



Kuva 1. Yli 20 µm kokoisten metallihiutaleiden ja liukenemattoman öljysakan ilmaantumisen viittaavat heikentyneeseen voitelukykyyn.



Kuva 2. Kaikki mikä kiiltää ei ole metallia. Grafiitille on tyypillistä metallimainen kiilto, mutta se on pinnaltaan usein monitahtoinen, joka muun muassa kovuuden lisäksi erottaa sen metallihiukkasista.

sia metallihiukkasia. ICP soveltuikin parhaiten pienihiukkasten kohteiden, kuten moottoriöljyjen trendiseurantaan ja erilaisen hionta- eli abrasiivisen kulumisen ja korroosikulumisen havaitsemiseen.

Lisäksi ICP-analyysejä ei käytetä aina parhaalla mahdollisella tavalla hyväksi. Jos on viitteitä siitä, että jokin öljyn lisäaine esimerkiksi saostuu, niin analyysejä ei pitäisi tehdä normaalilla tavalla öljystä. Muuten saatetaan mittaustulosten perusteella tulkita, että öljyssä kaikki on kunnossa. Järkevämpää olisi suodattaa epäilyt, saostunut lisäaine ensin öljystä pois sopivan tiheän kalvosuodattimen avulla ja vasta sen jälkeen tutkia öljyssä liuenneessa (=toimivassa) muodossa olevien lisäaineiden määrät. ICP havaitsee isohkot sakkautuneet ja pehmeät lisäaineet, toisin kuin kovat kulumametallihiukkas-kaset, eikä osaa erotella toimivia, liuenneessa muodossa olevia lisäaineita kiinteistä, sakkautuneista lisäaineista. Kaikille näytteille saman-

kaltainen liukuhinna-analysointi ei aina sovellu erilaisia ongelmatapauksia ratkottaessa.

Tarkastellaan vielä toista perusanalyysejä, jolla on vaikea saada mahdollisimman luotettavia ja käyttökelpoisia tuloksia. Laadukas automaattinen hiukkaslaskin on hyvin hyödyllinen, nopea ja helppokäyttöinen laite, mutta sen käyttö koneen kulumisen seurannassa ei ole aina yksinkertaista. Pääosa hiukkasista on usein muita kuin kulumismetalleja. Tutkittavasta öljystä löytyy usein öljyperäisiä hiukkasia kuten perusöl-

jyn hapettumistuotteita ja lisäaineita. Tällaisia ovat esimerkiksi submikroniset hartsimaiset yhdisteet, kuluneet ja saostuneet lisäainejäämät, erilaiset oksidit, sulfidit, tribo- eli kitkapolymeerit, vahat, geelit, lietteet, karstamaiset yhdisteet, mikrohiili muun muassa.

Lisäksi öljystä löytyy aina enemmän tai vähemmän prosessiympäristön epäpuhtauksia ja materiaalihiukkasia järjestelmästä, kuten pölyä, hiekkaa, polymeerejä, kuituja, maalihiukkasia, grafiittia (kuva 2), rasvoja, suoja-aineita, asennuspastaa jne. Lisäksi eräät öljyihin liukenemattomat aineet, kuten öljyn vaahdonestolisäaineena käytetty silikoniöljy, aiheuttavat laskimella korkeita "haamutuloksia" ja voivat säikäyttää käyttäjän tuloksellaan ellei näytettä tarkisteta mikroskooppisesti.

Mittaukset ovat vielä vaikeampia, jos järjestelmän öljyn vesipitoisuus on koholla. Tällöin oletetaan helposti, että hiukkaslaskimen korkeat hiukkasmäärät johtuvat kosteudesta, mutta usein kosteuden lisääntyessä samalla tapahtuva voitelukalvon heikentyminen saattaa nopeastikin kiihdyttää kulumista haitalliselle tasolle. Vain hiukkaslaskimeen luottaen järjestelmän epätavallinen kulumisen saattaa jäädä huomioimatta tai toisaalta aiheutetaan turhaa hämmennystä kunnossapidolle kuitteiden kulumista tapahtuvan vaikka kaikki on aivan kohdallaan.

Ilman tribomonitoirintia jää kalvamaan, mitä kohonneet hiukkasmäärät tarkoittavat.

Öljyanalyyseistä saatavia tuloksia on mahdollisuus hyödyntää ennakoivassa kunnossapidossa huomattavasti nykyistä paremmin, kun tiedetään eri analyysimenetelmien mahdollisuudet ja rajoitukset ja sen perusteella valitaan kuhunkin tarkasteltavaan kohteeseen sopivimmat analyysimenetelmät. Tribomonitoirintia on eräs halvimmista ja tehokkaimmista keinoista havaita epänormaali kulumisen. Sopivilla menetelmillä, tarkasti ja säännöllisesti tehtynä öljyanalyyseillä saadaan havainto esimerkiksi alkavasta laakerivauriosta ennen kuin värähtelymittauksissa havaitaan mitään poikkeavaa. Jos hiukkaslaskin ja värähtelymittari eivät ole aina antaneet riittävästi tietoa ennakoivalle kunnossapidolle, kannattaa kokeilla myös mikroskooppista tribomonitoirintia öljystä. ♦



Lisätietoja antaa Mika Vesala Laboratoriopalvelusta.

Hiukkastyytit ja niille ominaisia piirteitä

Hiukkastyyppi	Typillinen kokoluokka	Esimerkkejä hiukkaselle tyypillisistä piirteistä	Esimerkkejä kulumistyyppistä tai -mekanismista
Hitu	1-5 µm (joskus jopa 5-15 µm)	Usein tummia, oksideja hilsettä, hienojakoista. Ohuita hiutaleita tai satunnainen muoto. Jos määrä lisääntyy siirrytään tasaisesta kulumisesta kiihtyvään kulumiseen.	Hiontakuluminen Värähtelykuluminen Delaminaatiokuluminen Hapetuskuluminen "Normaalikuluminen"
Hiutale	5-50 µm -100 µm	Kooltaan isompia kuin hitu, muodoltaan kuitenkin melko samanlaisia: sileä pintaisia, ohuita, pinnaltaan joskus poimuisia ja reikäisiä	Väsyminen Liukuminen
Pallo	1-7 µm 5-50 µm 20-80 µm	Vierintälaakerien väsyminen Metalli-metalli kosketus Indikoivat korkeita lämpötiloja hitsausroiskeet, hionta, polttoleikkaus	Väsyminen Kavitataatio Eroosio Tartunta Sulaminen
Lastu	10-1000 µm	Ohuita suikaleita, spiraaleja tai lastuja Indikoivat aina epätavallista kulumista	Kyntö
Kimpale	10-200 µm	Selkeästi 3-ulotteinen Pinnalta usein karhea, toisinaan repeytynyt, joskus pinnalta kuoppautunut	Väsyminen Tartunta Kavitaatio Eroosio
Levy	50-300 µm	Paksuhko levymäinen Usein uurteinen pinnalta	Voimakas liukuminen Väsyminen Ankara kuluminen