

Düll Sándor

GÖRDÜLŐCSAPÁGYAK ÁLLAPOTFIGYELÉSE ÉS DIAGNOSZTIKÁJA SPM MÓDSZERREL

Az előadás célja az ún. SPM lökésimpulzus módszer gyakorlati alkalmazásának bemutatása. A vizsgálati módszer alapján meghatározható a csapágyak „megfelelő” „megengedett” és „nem megfelelő” állapota, kenetségi szintje. Végezetül röviden utal a jelenleg alkalmazott kézi rezgésmérő műszerek felhasználására, illetve az SPM műszerek számítógépes karbantartási rendszerének kiépítésére.

BEVEZETÉS

A gördülőcsapágyak olyan fontos elemei a gépeknek és berendezéseknek, amelyek döntő mértékben befolyásolhatják azok megbízhatóságát és rendelkezésre állását.

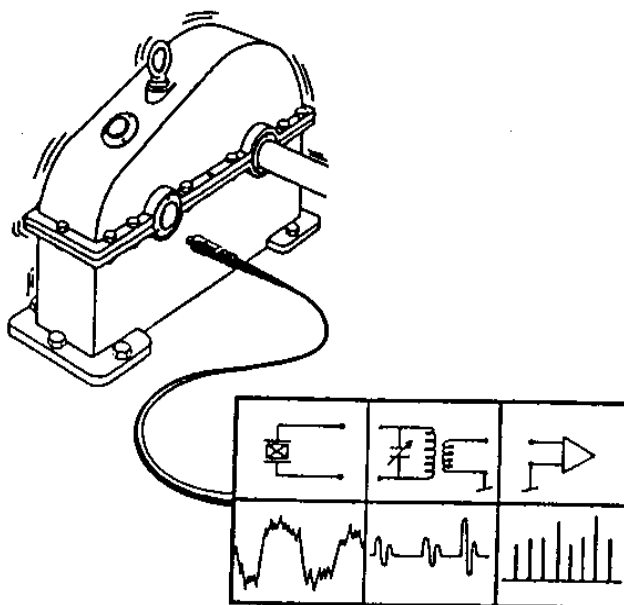
Ennek következtében a gördülőcsapágyak diagnosztizálása — amely a súrlódási nyomaték és a hőmérséklet mérésén kívül rezgésvizsgálatokat is szükségessé tesz — elkerülhetetlenül fontos.

A rezgésvizsgálat rendszerint gyorsulásérzékelőkkel végrehajtott testhang mérésekre épül. Az olyan egyszerű jellemzők, mint a csúcs, — effektív —, és középérték azonban viszonylag kevés információval szolgálnak a gördülőcsapágy állapotára vonatkozóan. Legtöbbször a frekvenciaspektrum ellenőrzése sem elegendő. A kár felderítése rendszerint széles körű jelelemzést tesz szükségessé, amelynek számos módszerét alkalmazzák.

A gépek üzemelése során a mozgó gépelemek különböző — a környezetet gerjesztő — test és léghangokat keltenek. A gépek meghibásodása rendszerint további rezgésekkel jár. A gördülőcsapágyak pályáján kialakuló gödrösödés (pitting) pl. az átgördülés során periodikus, egyedi impulzusokat hoz létre, amelyek a csapágyszerkezetekben rezonanciát keltenek. Ezeknek az impulzussorozatoknak a frekvenciája a gördülőcsapágyak jellemző sajátossága, amely a csapágy geometriája és fordulatszáma alapján kiszámítható. A külső és belső gyűrűn vagy a görgő felületén létrejött hibákhoz eltérő frekvenciák tartoznak, amelyek az adott csapágy frekvenciái. Mivel azonban más, nagyobb intenzitású jelekkel együtt vannak jelen, felismerésük gyakran nehéz.

A CSAPÁGYAK ÁLLAPOTELLENŐRZÉSE LÖKÉSIMPULZUSOKKAL

A forgógépek csapágyainak állapota az adott berendezés legfontosabb jellemzőjének tekinthető. Ennek ellenőrzésére rendszerint rezgések időbeni változásának elemzését használják a gyakorlatban. A lökésimpulzusokkal való vizsgálatot a svéd, SPM Instruments AB vállalat dolgozta ki a hetvenes évek elején. Szemben a szokványos rezgéselemzéssel, amely széles sávú rezgéseket alkalmaz egyedi frekvenciák megfigyelésével, a lökésimpulzusokkal végzett vizsgálat a rezgéstartományban csak a nagyfrekvenciás összetevőivel foglalkozik. *Az egyes impulzusok erősségének, valamint az erős és gyenge impulzusok arányának vizsgálata képezi a csapágyellenőrzés lényegét.* Az impulzusok erőssége ugyanis a csapágy felületi állapotával és kerületi sebességével arányos. Ép csapágyak esetében a lökések szintje a görgők és a pálya közötti kenőanyagréteg vastagságának függvénye. A csapágyhibák azonban gyakran az erős és gyenge lökések amplitúdójának 1000-szeres változását hozzák létre. Az (1. ábra) az olajfilm-vastagság lökésimpulzusokkal végzett vizsgálatának elvét mutatja be.



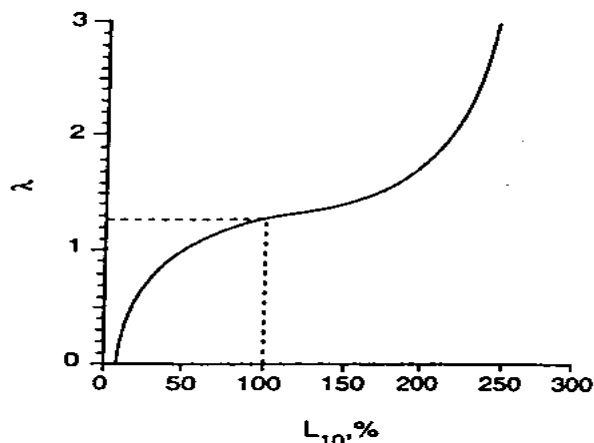
1. ábra. A lökésimpulzusok mérésének felhasználása az elméleti olajfilmvastagság meghatározására

A CSAPÁGYÉLETTARTAM

A csapágyak viszonylag ritkán hibásodnak meg a csapágyban alkalmazott fémek természetes fáradása következtében. Az esetek túlnyomó részében a fáradást a gördülőelemek és a pálya közötti kenőréteg hiányosságai okozzák. Ennek általános okai: a nem megfelelő kenés, helytelen beépítés, szennyeződés, villamos áram vagy mechanikai rezgés.

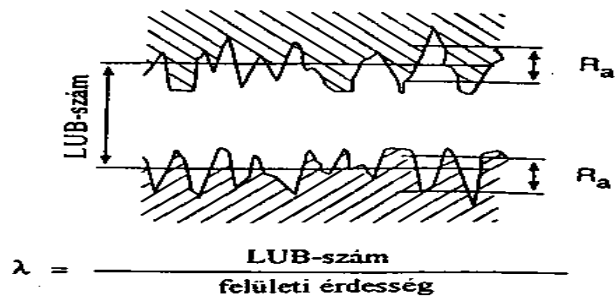
Adott csapágy esetében a kenőréteg alakulását befolyásoló tényezők rendszerint állandó jellegűek. Ilyenek a statikus és dinamikus terhelés, a csapágyház geometriája, a tengely és a csapágy illesztése, a fordulatszám, valamint esetenként az előterhelés. További tényezők viszont a kezelőszemélyzet munkájától függenek és jelentősen befolyásolhatják a csapágy élettartamát. Ilyenek a hibás összeszerelés által létrehozott előterhelés, továbbá a kenőrendszer működési és a kenőanyag minőségi hiányosságai.

A csapágy várható élettartamát a gyártók általában a csapágyak 10%-ának meghibásodásához tartozó időtartam formájában határozzák meg, ez az L_{10} élettartam. A csapágy élettartama a csapágyban kialakuló olajréteg-vastagság változásának, vagyis a felületi érdességnek (λ) a függvénye. Általában elfogadott, hogy a $\lambda = 1,2$ értékhez tartozik az L_{10} élettartam (2. ábra).



2. ábra. Az L_{10} élettartam és a λ érték közötti összefüggés

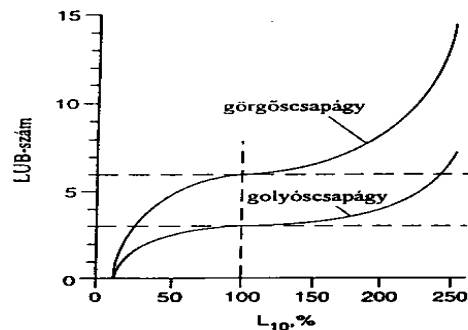
A lökésimpulzus módszer azonban egy további lehetőséget kínál a kenés hatékonyságának növelésére, azáltal, hogy bevezeti a LUB-számmal kifejezve a kenőanyag relatív rétegvastagságát. Ily módon a λ érték a relatív rétegvastagság (a LUB) értékével is kifejezhető (3. ábra).



$$\lambda = \frac{\text{LUB-szám}}{\text{felületi érdesség}}$$

3. ábra. A λ értéknek a LUB-szám és felületi érdesség útján való meghatározása

Az L_{10} -érték és a LUB érték közötti összefüggést a görgős- és golyóscsapágyakra vonatkozóan a (4. ábra) szemlélteti.



4. ábra. Az L_{10} -élettartam és a LUB-szám közötti összefüggés görgős- és golyóscsapágy esetében

A görgőscsapágyak esetében — a nagyobb felületi érdesség folytán — a LUB = 6 érték a jellemző.

Amennyiben a vizsgált csapágy kenőrétege vékony, a lökésimpulzus módszer kisebb LUB értéket eredményez. Nem megfelelő LUB-számmal működtetve a csapágyat, annak felületén irreverzibilis felületi sérülések keletkeznek. A lökésimpulzus módszer lehetővé teszi annak a LUB értéknek a beállítását, amely az adott üzemi viszonyok (fordulatszám, terhelés, hőmérséklet) között maximális élettartamot eredményez.

FOLYAMATOS ÉS TRANZIENS REZGÉSEK JELLEMZŐI

A gördülőcsapágyak üzemeltetése kétféle rezgést kelt: vannak folyamatos, valamint rövid ideig tartó (tranziens) rezgések. A mérés információkat ad a rezgés-

sek nagyságának, frekvenciájának eloszlásáról, és ezekből következtetni lehet az üzemi feltételekre, valamint a csapágy állapotára. A csapágyházon mérhető folyamatos rezgésekben a rendszer minden sajátfrekvenciája megjelenik, az összes ehhez tartozó felharmonikussal.

A folyamatos rezgések rendszerint az alsóbb, 10—10 000 Hz frekvenciatartományban ébrednek. Ezek a géptestben terjedő gép- és csapágyrezgések domináns jellegűek a teljesítmények spektrumában. A folyamatos rezgés alakulása függ a gép tényleges terheléseitől.

A gördülőcsapágy által gerjesztett folyamatos rezgések amplitúdója a rendszer (vagyis a megfigyelt gép) egyéb rezgéseivel képest kicsi. Ez a folyamatos csapágyrezgés a fordulatszámától függ, ugyanakkor igazodik a teljes rendszer rezgésállapotához.

A tranziens jellegű csapágyrezgéseket a csapágyfelület rendellenességei gerjesztik. A gördülés során az érintkező párok (a pálya és a futófelület) között ütődések lépnek fel, ezek impulzusokat keltenek. A lökések rugalmas hullámokat indítanak, amelyek a csapágy és a csapágyház anyagában terjednek.

A lehetséges ütésimpulzusok sokféle jelalakkal azonosíthatók, ezek alapján következtetni lehet a rezgés okaira. Rendszerint a normális eloszlás szerint alakulnak a mért értékek, a konkrét felületi jellemzőknek megfelelő alakokkal, a várható átlagos érték a kHz-es frekvenciatartományban alakul ki.

Ehhez képest alacsonyabb frekvenciák jellemzik a gördülőcsapággal együtt forgó szennyezések miatti rezgéseket. A levált anyagrészek nagyobb lökésimpulzust keltenek, mint a csapágypálya érdessége, benyomódása miatti hatások. Ezek az együttforgó kemény szennyeződések viszonylag kis ideig vannak jelen, az okozott rezgések véletlenszerűen mutatkoznak, ahogy a berágódások, beékelődések miatt a csapágy futásában rendellenességek mutatkoznak (pitting).

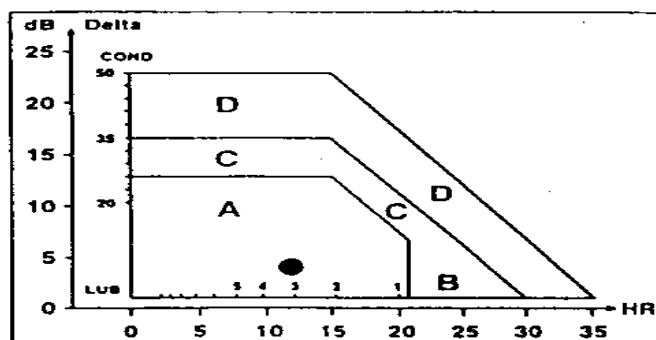
Az említett folyamatos és tranziens rezgések mellett egy harmadik fajta jelso-rozat is mutatkozik, mégpedig periodikustól eltérő zavarjelként. A csapágy működése esetén periodikus jelsorozat észlelhető, az ismétlődések frekvenciája jellemzi ezt a rezgésforrást. *Minél nagyobbak a csapágy elváltozásai* (pl. a törés, szennyeződés stb. következtében), *a lökésimpulzusok annál szabálytalanabbá válnak a csapágyrezgések alapállapotához képest.*

A zavarjeleket a csapágyház, valamint a környező géprészek rezonanciafrekvenciája is befolyásolja. ezek a rezonanciafrekvenciák a gép szerkezeti felépítésétől függenek, nagyságuk néhány tíz kHz-ig terjedhet. A fellépő ütéssebességek négyzetével arányosan változik az ilyen tranziens rezgések amplitúdóinak csúcserkéke.

A GYORSULÁS MÉRÉSE

Rendszerint gyorsulásmérésen alapuló érzékelőket alkalmaznak a lökésimpulzusok megfigyelésére. Ezek a jelátalakítók különösen a nagyfrekvenciás rezgések mérésére alkalmasak. A rugalmas rezgéshullámok rezonancia frekvenciája pl. a kb. 30 kHz-es tartományban észlelhető optimális érzékenységgel. A csapágyház különböző helyein különböző modulációs hatások figyelhetők meg. Erre tekintettel fontos mérési követelmény, hogy a gyorsulásérzékelőt minden alkalommal a csapágy pontosan azonos helyére erősítsék fel. Olyan mérési helyet célszerű választani, amely közel van a csapágy terhelésvételi helyéhez. Az SPM cég csapágyfelügyeleti rendszere az abszolút és a relatív mérés kombinációjára épül, ezzel mind a kifogástalan minőségű, mind a súlyosan megrongálódott gépelemek jeleit értékelni lehet. Az SPM-eljárás a gyorsulásértékelő három jelét hasznosítja: a HR-, az LR- (azaz nagy- és kisfrekvenciás), valamint az ún. Delta-értékeket. Mikroprocesszor vezérli az SPM csapágyfelügyeleti rendszer méréseit és automatikusan a program szerint végzi a jelek értékeléseit.

A mérőrendszer automatikusan a gép fordulatszámához igazítja a mérés eredményeit, és az előre megadott minősítési ismérvek szerint négy jellegzetes állapotot képes megkülönböztetni (5. ábra).



5. ábra. A csapágyfelügyelet rezgésvizsgálatainak négy eredménytartománya

ahol:

- „A” — a csapágy jó állapotban működik,
- „B” — a kenési állapot nem megfelelő;
- „C” — a csapágy mechanikai állapota nem megfelelő;
- „D” — a csapágy hibás.

Üzemi tapasztalatok szerint az előre megadott (a frekvenciák és amplitúdók tartományaihoz rendelt) minősítési ismérvek jól jellemzik a csapágy lehetséges állapotait. A megbízható, reprodukálható mérésekhez az alábbiak szükségesek:

- az ideális mérési pontok kijelölése;
- a mérőérzékelő gondos, szilárd felerősítése;
- a teljes mérési, jelértékelési lánc felülvizsgálata.

Megfelelő kalibrálás is szükséges, hogy a rezgésmérés adatbankjába bevitt mérési eredményeket összehasonlíthassák. A megfigyelt mérési pontok kalibrálása nem független a csapágy pillanatnyi kenési állapotától. A rendszer ennek megfelelően határozza meg az egyes mérési pontok ún. kalibrálási tényezőit, amelyek alapján a ténylegesen mért HR, ill. LR adatokat a jelek értékelése előtt kompenzálják.

Személyi számítógépen alkalmazható és könnyen kezelhető programcsomagot dolgoztak ki a mérési pontok kalibrálására, a kapcsolódó üzemfenntartási feladatok megoldására. A program felsorolja az előforduló szabványos csapágyak típusait, a felhasznált olajfajták ISO szabványnak megfelelő viszkozitási értékeit (ISO VG). A program alkalmazásával meghatározható a várható élettartam, a súrlódási veszteség stb.

A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Állandó kenési állapothoz (az ún. „k”-értékhez) viszonyítva négy féle rezgés-kombinációt értékel a csapágy felügyeleti rendszere:

- az „A” jelzésű állapotra jellemző, hogy megfelelő vastagságú a kenőfilm, a program a csapágy típusának, nagyságának és üzemi fordulatszámának megfelelő rezgéseket értékel, viszonylag szűk változási sávban;
- a „B” jelzésű állapot a szárazon futásra jellemző rezgéskép alapján azonosítható. Ilyen esetekben $k < 0,1$ kenési értékre utaló nagyfrekvenciás és delta (HR és delta) jelek mérhetők, a normális jeltartományból kimozdulva a kis delta értékek irányába;
- a „C” jelzésű állapot vészjelzése arra figyelmeztet, hogy a száraz futásnál kedvezőtlenebb elváltozások mutatkoznak, pl. szennyezett a kenőanyag, előrehaladt a csapágy kopása stb. Az üzemfenntartóknak megfelelően intézkedésekkel kell válaszolniuk ilyen jelzésekre, pl. a kenőanyagot sürgősen pótolni vagy cserélni kell, a kopott lakatrészt minél előbb újjal kell helyettesíteni;
- a „D” jelzésű állapot a nagyfrekvenciás jelek (HR) küszöbértékének túllépésével figyelmeztet a csapágy súlyos rendellenességére, pl. törésére.

A TANSZÉK HELYZETE, ESZKÖZELLÁTÁSA

A Gépészeti és Villamossági Tanszék viszonylag kedvező helyzetben van a műszaki felsőoktatásban a diagnosztika oktatását illetően. A tantárgyat egy főiskolai tanár, három fő docens és egy műszaki oktató tanítja. Az oktatók több éves gyakorlati tevékenységgel, megfelelő publikációval rendelkeznek, ami biztosítja a színvonalas képzést. Ugyanis különböző pályázatok segítségével és saját erőfeszítésünk révén megfelelő műszaki háttérrel rendelkezünk az általános- és karbantartó gépész, mérnökstanár, épületgépész, valamint a műszaki menedzser szakos hallgatók diagnosztikai alapismeretekre történő elméleti és gyakorlati oktatásához.

A diagnosztizálási oktatásban két területre helyezük a hangsúlyt: elsősorban az elméleti alapok elsajátítására, másodsorban a különböző mérések megismerésére, gyakorlati alkalmazására.

Sajátosságaink miatt elsősorban a csapággal kapcsolatos tudnivalókat, a csapágyvizsgálatok alkalmazását tanítjuk.

Ebben az egyszerűbb műszerekkel történő mérések gyakorlása áll a középpontban: pl. effektív sebesség mérések, kiegyensúlyozások, csapágyhibák, kenetségi jellemzők, zajmérések, szerszámgépek diagnosztizálása, stb.

A bonyolultabb eljárásokat a TDK munkát, illetve záródolgozatokat készítő hallgatók tudják elsajátítani. E módszereken belül kapnak megkülönböztetett figyelmet az SKF ill. SPM cégek által kifejlesztett módszerek és eljárások.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] GEROPP, B, BURGWINDEL, P, KESSLER, H-K.: Schadensdiagnose an extrem langsam drehenden Wälzlagern mit Hilfe einer preiswerten Schwingungssensorik = VDI. Berichte, 1995. 1221. sz. p. 267-277.
- [2] MORONDO, L, E.: Bearing condition monitoring by the shock pulze method = Iron and Steel Enginieer, 75. k. 12. sz. 1998. p. 40-43.
- [3] BACHMEIR, W.: Lager OK? Leistungsfähiges Stoß-Impuls-Verfahren gibt Aufschluß über den Zustand von Wälzlagern = Instandhaltung, 25 k. 5. sz. 1996. okt. p. 34-36