

CSAPÁGYHIBÁK DIAGNOSZTIZÁLÁSÁRA ALKALMAS MÓDSZEREK ELEMZÉSE

ANALYSIS OF METHODS FOR DIAGNOSING BEARING FAILURES

Tóth Dániel, tanársegéd, toth.daniel@uni-miskolc.hu
Dr. Takács György, egyetemi docens, takacs.gyorgy@uni-miskolc.hu
Dr. Szilágyi Attila, egyetemi docens, szilagyi.attila@uni-miskolc.hu

ABSTRACT. Bearings have a very important role in all rotating machines. Their operating properties influence the function of the whole device, therefore continuous condition monitoring is highly recommended. This paper deals with analysis of methods for diagnosing bearing failures and presents specific experiments.

1. BEVEZETÉS

A csapágyaknak kiemelt szerepük van szinte minden forgógépben. Működési tulajdonságaik hatással vannak az egész szerkezet működésére. A csapágyhibák olyan meghibásodási sorozatot indíthatnak el a berendezésekben, amelyek akár több nagyságrenddel meghaladhatják a csapágyak cseréjét, illetve a diagnosztikai vizsgálatok költségeit is [1]. A nem várt károsodások elkerülése érdekében elengedhetetlen a csapágyhibák korai diagnosztizálása. A csapágyak maradék élettartamát összehasonlító vizsgálat segítségével szokás megbecsülni. Ennek során megnézik, hogy a vizsgált csapágy valamely jellemzője egy ugyanolyan típusú referencia-csapágy ismert élettartam görbéjének mely szakaszára esik. Ismerni kell tehát a referencia-csapágy meghatározott körülmények között felvett, egy előre definiált csapágyjellemzőre vonatkozó élettartamgörbéjét, valamint a vizsgálandó csapágy hasonló körülmények között megállapított jellemzőjét [2]. Különböző módszerek léteznek a csapágyak működési viszonyainak felügyeletéhez, amelyek segítenek meghatározni a csapágyhiba megjelenését. Hatékony állapotfelmérő technikák a zajdiagnosztika, a hőmérsékletelemzés, a kenőanyag vizsgálat, az akusztikus emisszió, a kopási hulladékkezelés és a rezgésdiagnosztika is.

2. CSAPÁGYHIBÁK

A csapágykárosodások mindegyike jellegzetes hibákat okoz, melyeket elsődleges és másodlagos meghibásodásokra szokás osztani. Az elsődleges hibák közé sorolható a kopás, az elkenődés, a felületi károsodás, a benyomódás, a korrózió és a villamos áram okozta károsodás. A primer károsodás tovább terjedéseként jelentkezhetnek a szekunder károsodások, mint például a repedés és a lepattozás. A csapágyak korai tönkremenetelének oka lehet például a gondatlan kezelés, a számítottnál nagyobb terhelés, a nem elegendő vagy nem megfelelő kenés, a rossz hatásfokú tömítés vagy a túl szoros illesztések, melyek elégtelen belső csapághézagot eredményeznek. Egy károsult csapágyat megvizsgálva a legtöbbször véleményt lehet formálni a hiba okáról és ezt követően a szükséges intézkedéseket meg lehet tenni. Általában a csapágyak kopása nem jelentős. Kopás azonban előfordulhat idegen részecskék csapágyba való behatolása miatt, vagy elégtelen kenés esetén. A nem működő csapágy kopását okozhatja vibráció is. A futópályák, gördülőelemek és kosarak kopását okozhatják a csapágyba valamiképpen behatolt kis, koptató részecskék. A felületek homályossá válnak a koptató részecskék durva szemcszetétől és természetétől függően. A koptató részecskék mennyisége fokozatosan növekszik, amint lekopnak a forgó felületekről és a kosárról. Ezért a kopás gyorsuló folyamattá válik, végül a felületek annyira kopottá válnak, hogy a csapágy működésképtelen lesz. Ha a kenőanyag elvesztette kenőképességét, nem keletkezhet olyan olajfilm, melynek elégséges a teherviselő képessége. Előfordul a gördülőelemek és a futópályák közötti fémes érintkezés. Az eredményezett kezdeti kopásnak durván tükrösítő hatása van. A

megmunkálás után maradó mikroszkópikus érdesség csúcsai letöredeznek, egyidejűleg bizonyos lehengető hatás keletkezik, amely az érintett felületen változó fokú, tükörszerű kiképzést okoz. Ebben a stádiumban veszélyes felületi károsodás is előfordulhat. Ha a kenőanyag teljesen elhasználódott, a hőmérséklet gyorsan emelkedik. Az edzett felület ekkor kilágyul és kékes, barnás árnyaltúvá válik. A hőmérséklet olyan magas is lehet, hogy a csapágy berágódik. A csapágyakban különböző okok eredményezhetnek repedéseket. Közönséges ok a durva kezelés be- vagy kiszerezésénél. A gyűrűre közvetlenül vagy edzett acéllal mért ütés finom repedéseket okozhat, melyek részecskék leválását eredményezik a csapágy üzembe állításakor. A csapágyat túlságosan felütik a kúpos ülékre vagy hüvelyre, a gyűrűben keletkező feszültségek a csapágy üzembe helyezésekor repedéseket eredményeznek [3].

3. AKUSZTIKUS EMISSZIÓ

Akusztikus emisszió (AE) nevezik az anyag belső szerkezetében felhalmozott, belső energia felszabadulásakor keletkező rugalmas hullámokat. Az üzemi terhelés alatt lévő forgó golyók, illetve görgők AE forrásként működnek, amelyet a csapágyházra helyezett érzékelővel lehet detektálni. A módszer által használt mérőlánc általában egy piezoelektromos jelátalakítót, egy előerősítőt, valamint egy jelanalizátort tartalmaz. A jelátalakító, melynek sajátfrekvenciája igen magas, rezonanciára érzékeny. Az előerősítőben lévő, alkalmasan megválasztott sávszűrő a jelátalakító jelét módosítja. Az általa előállított leggyakoribb AE paraméterek a hullámszám (ringdown count), az esemény (event) és a csúcserték (peak amplitude). Az AE paraméterek segítségével egy defektus már akkor kimutatható, mielőtt még az megjelenne a rezgés gyorsulás spektrumában, ráadásul élettartam vizsgálatok során is képes kimutatni az AE forrásokat [4].

4. ZAJDIAGNOSZTIKA

A csapágy belsejében forgó görgők illetve golyók által szélessávú zaj és rezgés keletkezik, amely fokozódik a csapágy helytelen kenése, túlterheltsége (pl. egytengelyűség-beállítás hiányosságok) következtében, vagy a futófelületek, illetve a gördülőelemek felületeinek meghibásodása esetén. A zajvizsgálat során a hangtér két jellemzőjét szokták detektálni: a hangnyomást és a hangintenzitást. A rezgésdiagnosztikával szembeni jelentős előnye, hogy a

zajkeltő objektummal nem kell közvetlen kapcsolatot teremteni, a zajmérés bizonyos távolságból is elvégezhető. A zajmérésnél nehezebb szétválasztani a diagnosztikai információt hordozó összetevőket az érdektelen részekről vagy esetleg a külső zavaró körülményektől. Bár a csapágy zajdiagramjának felvétele nem ad lehetőséget egyértelmű gyártási, illetve technológiai hiba kiszűrésére, a zajmérés és ezen belül is az úgynevezett effektív zajérték kiválóan alkalmas a csapágy minősítésére, hiszen a csapágyzajban valamennyi technológiai és gyártási hiba érzeteti hatását. Megfelelő hangszigetelés hiányában a háttérzaj jelentős mértékben rontja a vizsgált csapágyzaj detektálhatóságának hatékonyságát, ezért célszerű hangszigetelt, visszhangmentes, direkt ilyen célra kialakított helyiségben végrehajtani a vizsgálatot. A mért zajszintet nemcsak a csapágy, hanem a méréshez használt készülék is befolyásolja, ezért a különböző zajvizsgáló berendezéseken kapott mérési értékeket nehéz egymással összehasonlítani. Ennek ellenére egy szerelt csapágy minősítésére – frekvencia analízátor alkalmazása esetén – a csapágy zajdiagramjából levonhatók bizonyos következtetések [5].

5. REZGÉSDIAGNOSZTIKA

A rezgésdiagnosztika segítségével a szerkezet megbontása vagy leállítása nélkül bármikor megállapítható a kérdéses egység várható élettartama, károsodásának mértéke, pillanatnyi állapota, majd ezek alapján egy esetleges beavatkozás szükségessége és ennek időpontja az üzemeltetés függvényében. A csapágyak rezgésdiagnosztikai vizsgálataira különféle idő-, és frekvenciatartományon elvégezhető jelanalizálási technikák léteznek. A spektrumanalízis nyújtotta lehetőségekre támaszkodva hasznos információk kaphatóak a rezgés jellegéről, a hibák elhelyezkedéséről, és azok relatív nagyságáról. A károsodott csapágyalkatrészek különböző hibafrekvenciákon gerjesztenek rezgéseket. Mivel a csapágy által keltett zaj és rezgés szélessávú, ezért az effektív értéket mérő műszerek részére nehéz bármilyen konkrét frekvenciát vagy szűk frekvenciasávot definiálni, amellyel a csapágy állapota jellemezhető lenne. Ez ráadásul azért is lehetetlen, mert a konkrét, úgynevezett csapágyhiba-frekvenciák egyebek között a csapágytípustól és a gép aktuális fordulatszámától függenek. A gyakorlatban bevált az a módszer, hogy a csapágyállapotot jellemző értéket a 2 kHz és 20 kHz közötti frekvenciatartományban mért rezgés gyorsulás effektív értéke

alapján határozzák meg. Az átlagos gépek kiegyensúlyozatlanságból vagy tengely beállítási hibákból eredő rezgései biztosan 2 kHz alatti frekvenciákon lépnek fel, így ezek nem befolyásolják a csapágyra jellemző értéket. A felső határ kiválasztása pedig azon alapszik, hogy a legtöbb rezgésérzékelő felső határfrekvenciája különleges rögzítési módszer nélkül 10 kHz, és az érzékelő jele 20 kHz fölött már egyébként is meglehetősen kicsi [6].

6. VIZSGÁLÓBERENDEZÉS

Laboratóriumi körülmények között a csapágyak állapotfelmérése alapvetően kétféle módszer terjedt el. A kísérletek során vagy a mesterségesen generált hibák okozta válaszjeleket elemzik, vagy fárasztóvizsgálattal zajlanak, amely során tönkremenetelig járatták a csapágyat. Az állapotfelmérés kísérleti úton vizsgálóberendezés segítségével végezhető. Ilyen berendezés található a Miskolci Egyetem, Szerszámgépek Intézeti Tanszékén (1. ábra). A vizsgálóberendezés alkalmas csapágyak fárasztására és mérésére egyaránt.



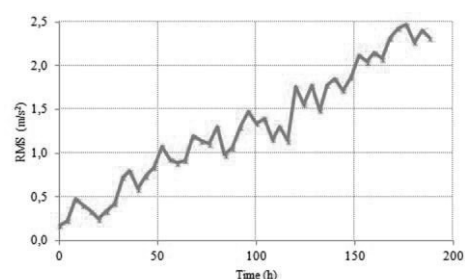
1. ábra. A csapágyvizsgáló berendezés

Az ábrán látható baloldali (7F) tengely kizárólag a fárasztást végzi, a jobb oldalon lévő pedig a vizsgáló tengely (7M). A két orsó csapágyazásukban különbözik egymástól. A fárasztó orsó masszív, kétsoros kúpgörgőscsapágyakon (3F), a mérő orsó pedig siklócsapágyakon (3M) fut. Így küszöbölhetők ki a masszív gördülő csapágyazásból eredő rezgések. A vizsgálandó csapágyak a tengelycsapokra illeszthető szerelt házban (4F) helyezük el. Az orsókat egy frekvenciaváltóval vezérelt villamosmotor (1) hajtja. Az ábra alsó részén figyelhető meg a hidraulikus munkahenger (6), amely az adott műterhelést biztosítja. A mérések során a vizsgálóorsó 1500 [min⁻¹] fordulatszámon működik, míg a hidraulikus munkahenger 1 [kN] műterhelést fejt ki, így a mérőorsó siklócsapágyának élettartama csak elhanyagolható mértékben

változik a vizsgálatok során. A vizsgált csapágy fárasztása során a fárasztó tengely (7F) működik 1500 [min⁻¹] fordulatszámon, miközben a tengely csapjára szerelt csapágyra a hidraulikus henger (6) az erőmérőn (5) beállított 6 [kN] műterhelést fejt ki egy kengyelen keresztül. Határozott idejű fárasztást követően a csapágyat tartalmazó kengyelt a hidraulikus henger átbilintésével a mérőtengely csapjára erősítjük, ahol a mérések elvégezhetők.

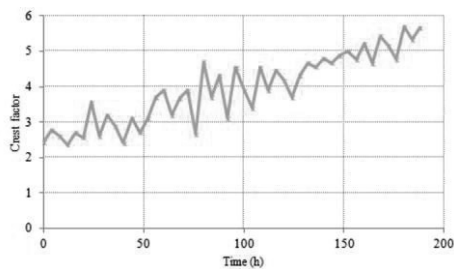
7. KÍSÉRLETEK

A kísérletsorozatok során először rezgésmintát vettünk a vizsgált (6303 típusú) csapágyról hibamentes állapotban. Ezt követően kezdtük meg a csapágy fárasztását, majd a határozott idejű (3-4 órás) fárasztási ciklusokat követően ismét rezgésmintát vettünk a csapágyról. A rezgésméréshez Kistler gyártmányú, 8632C50 típusú, piezoelektromos elven működő rezgés-gyorsulás-mérő szenzort használtuk. A mintavételi frekvencia 9,6 [kHz], míg a minták elemszáma 16384 volt. A rögzített adatok kiértékelését időtartományon és frekvenciatartományon is elvégeztük. A kiértékeléshez a Maple matematikai szoftverben megírt programkódot használtuk. A mintavételezett értékek alapján statisztikai indexeket – mint például RMS, Peak, Crest-faktor - számítottunk, amelyek időbeli függése alapján kirajzolódó görbe jelenti az élettartamgörbét. A vizsgált csapágy élettartamgörbéi a kiszámolt jellemzők segítségével ábrázolhatók. A négyzetes középérték (RMS) változása figyelhető meg a 2. ábrán.



2. ábra. RMS élettartamgörbe

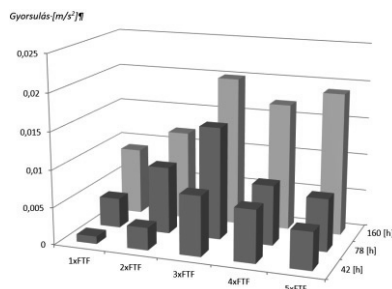
Kifejezetten a csapágyban megjelenő defektusok kimutatására használt sztochasztikus index a Crest-tényező. Egyes szerzők szerint [7], amennyiben az 5-ös értéket meghaladja a Crest-tényező, akkor nagy a csapágyon belüli defektus előfordulásának az esélye. A 3. ábrán megfigyelhető a Crest tényező alakulása, mely a 160. üzemóra után meghaladta az 5-ös értéket.



3. ábra. Crest tényező változása

A mérések adataiból kirajzolt élettartam-görbéken látható, hogy a csapágy kezdeti üzemében a statisztikai indexek az új csapágyakra jellemző értékekkel rendelkeznek, majd a várt növekvő tendenciát mutatják a csapágy elhasználódásával.

A rögzített rezgésminták spektrum formájú ábrázolásához gyors Fourier-transzformációt alkalmaztunk. A kísérletek kiértékelése során arra a megállapításra jutottunk, hogy a csapágy „öregedésével” párhuzamosan a hibafrekvenciák egyre több felharmonikusa jelenik meg, s ezek értékei exponenciálisan nőnek. A legszembetűnőbb változást a kosár hibafrekvencia felharmonikusai adták (4. ábra).



4. ábra. Kosár hibafrekvencia változása

A vizsgált csapágy élettartama a vizsgálatok során alkalmazott paraméterekkel 153 óra volt. Az előzetesen számított élettartam határán, rezgésspektrumban a hibafrekvencia csúcsok már jól elkülöníthetővé váltak és a statisztikai jellemzők is jelentősen megnövekedtek (kritikus közel értékeket értek el), emellett erősödő csapágyzaj is megfigyelhető volt a berendezés használatakor. Ennek hatására és a biztonsági előírásokat szem előtt tartva a fásztásokat felfüggesztettük és a csapágyat kiszereztük. Amint az a rezgésdiagnosztikai elemzések eredményeiből várható volt, a vizsgált csapágy tönkremenetelének a fő oka a kosárszerkezet károsodása volt. A tönkrement kosárszerkezet az 5. ábrán látható.



5. ábra. A kosárszerkezet károsodása

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tanulmány keretei között csapágyhibákat, valamint a hibák diagnosztizálására alkalmas módszereket tanulmányoztuk. A fásztóvizsgálatok által mélyreható diagnosztikai vizsgálatokat végeztünk, melynek során a vizsgált csapágyak különböző éleztakasaiból vett rezgésspektrumait értékeltük, valamint sztochasztikus jellemzőket számítottunk. A meghibásodásra utaló jelek felléptekor, a csapágy kiszereelésre került. A csapágyhibák feltárása után megbizonyosodhattunk a mérések által előre jelzett tönkremenetelről és egyben arról is, hogy a rezgésdiagnosztikai módszerek hatékonyan alkalmazhatók a csapágyhibák diagnosztizálására.

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.



10. IRODALOM

- [1] Dömötör Ferenc: Rezgésdiagnosztika I. Dunaújváros, 2008.
- [2] P. P. Khariche, S. V. Kshirsagar: Review of Fault Detection in Rolling Element Bearing. IJRAE, Vol. 1 Issue 5, June 2014.
- [3] SKF, Csapágyhibák és okai, Termékinformáció 401.
- [4] Yongyong He, Xinming Zhang, Michael I. Friswell: Defect diagnosis for rolling element bearings using acoustic emission.
- [5] Tatsunobu Momono, Banda Noda: Sound and Vibration in Rolling Bearings. Motion & Control No. 6, 1999.
- [6] Tóth Lajos Tibor: Tranziens és kváziperiodikus folyamatok analízise az időfrekvencia tartományban. PhD értekezés, Miskolc, 2011.
- [7] Karacy, T. Akturk, N.: Experimental diagnostics of ball bearings using statistical and spectral methods, Tribology International, 42 (2009) 836-843.