

GÖRDÜLŐCSAPÁGYAK REMANENS ÉLETTARTAMÁNAK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON THE REMANENT LIFETIME OF ROLLING-ELEMENT BEARINGS

Dr. Szilágyi Attila, Dr. Takács György**, Dr. Barna Balázs***, Demeter Péter*****

ABSTRACT

There are certain cases can be mentioned, when the failure of machinery is not rooting in the damage of a rolling element bearing. During the maintenance of such a machine, the following problem arises: since the bearings are still in working order, do they need to be replaced by a new one at the same time together with other parts of the machine? This question may turn up at companies, whose profile is the production and refurbishing of car industrial components, such as generators or starters. Some companies have to refurbish tens of millions of such components annually. Today's economical situation makes these companies consider the remanent lifetime of the components to be refurbished. This consideration can be motivated by owning such a test procedure and a device, which the high-accurate estimation of the used bearings' remanent lifetime can be performed by.

This paper deals with a test procedure which seems to be capable of performing the accurate estimation of the remanent lifetime of ball bearings.

1. BEVEZETÉS

A Miskolci Egyetem Szerszámgépek Tanszékének kutatócsoportjai az elmúlt évtizedekben jelentős tapasztalatra tettek szert a különféle precíziós gépelemek és gyártóeszközök kifejlesztésében. Ennek egyik előzménye volt az 1980-90-es években a Miskolci Egyetem és a Magyar Gördülőcsapágy Művek által a Szerszámgépek Tanszékén közösen működtetett „vezeték fejlesztő-vizsgáló” bázis, ahol kifejlesztésre került egy új moduláris, precíziós gördülőpapucs-család. A csapágyipari termékek élettartamvizsgálatával kapcsolatosan megszerzett tapasztalatok alapján folyik jelenleg a Miskolci Egyetem Szerszámgépek Tanszékén gördülőcsapágyak remanens élettar-

tamának meghatározására alkalmas módszerek kutatása és fejlesztése.

Napjaink környezettudatos felfogása szerint az ipari termékek megsemmisítése során elsődlegesen az újra felhasználható alapanyag minél hatékonyabb kinyerése a cél. Ugyanakkor a recycling folyamatok során kinyert anyagok egy része magasabb feldolgozási szinten is újrahasznosítható lenne. Ebbe a kategóriába tartoznak az ipari termékekből kibontott csapágyak, melyek, ha elegendő remanens élettartammal rendelkeznek, újrakondicionálás után akár új termékbe is beépíthetők az ismert korlátok figyelembevételével.

A folyó kutatási projekt célja olyan innovatív módszerek kifejlesztése, amelyek képesek kiválasztani azokat a recycling folyamat során keletkező, de komplex termékként is újrahasznosítható csapágyakat, amelyek maradó élettartama az elvárt eredeti élettartam 50%-át nagy biztonsággal meghaladja.

2. ELMÉLETI HÁTTÉR

Gördülőcsapágyak remanens élettartamát összehasonlító vizsgálat segítségével szokás megbecsülni [1][2]. Ennek során megnézik, hogy a vizsgált csapágy valamely jellemzője egy ugyanolyan típusú referenciacsapágy ismert élettartam görbéjének mely szakaszára esik. Ismerni kell tehát a referenciacsapágy meghatározott körülmények között felvett, egy előre definiált csapágy-jellemzőre vonatkozó élettartamgörbéjét, valamint a vizsgálandó csapágy hasonló körülmények között megállapított jellemzőjét.

A remanens élettartam becsléséhez használt csapágyjellemező típusát a vizsgálati eljárás határozza meg. A csapágy-diagnosztika számos vizsgálatot ismer, így a csapágyjellemezők típusa is sokféle lehet [1]. A [3][4] munkák a leggyakrabban alkalmazott csapágyvizsgálati módszereket foglalják össze. A továbbiakban röviden áttekintjük a rezgésvizsgálati eljárás lényeges jellemzőit.

* PhD, Egyetemi adjunktus, ME, Szerszámgépek Tanszéke

** PhD, egyetemi docens, ME, Szerszámgépek Tanszéke

*** Tanszéki mérnök, ME, Szerszámgépek Tanszéke

**** Egyetemi adjunktus, ME, Szerszámgépek Tanszéke

3. REZGÉSVIZSGÁLAT

Gördülőcsapágyak rezgésdiagnosztikája során különféle, frekvencia- és időtartományon elvégezhető jelanalizálási technika létezik.

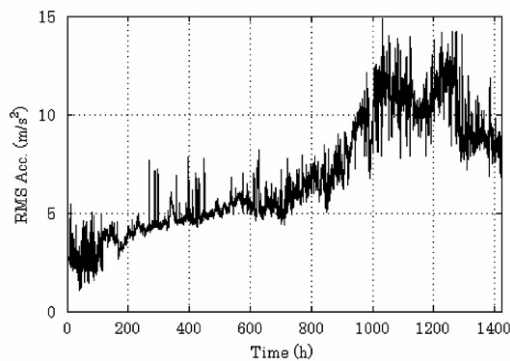
Ezek közül valószínűleg a spektrumanalízis a legelterjedtebb módszer. Ismeretes, hogy a gördülőcsapágy, mint rugalmas test, azzal az alapvető mechanikai (fizikai) tulajdonsággal rendelkezik, hogy leginkább egy-egy bizonyos "saját" frekvencián képes adott irányokban rezgéseket végezni. A felvett rezgéssel spektrumanalízisével ezek a jellegzetes frekvenciák "láthatóvá" válnak, és – az aktuális gépfordulatszám figyelembevételével – hozzárendelhetők a csapágyalkatrészekhez. Defektus megjelenése és továbbfejlődése esetén e jellegzetes frekvenciákon kibocsájtott rezgési energia megváltozik, és ez a spektrumban is megjelenik. Az amplitúdó növekedés mértékéből – összehasonlítva azt egy referencia csapágy spektrumdiagramjaival – a remanens élettartam becsülhető.

A tönkremeneteli szint – ezzel együtt a remanens élettartam – becslésére számos, sztochasztikus jellegű, ún. tönkremeneteli indexek használata terjedt el. Ezek az indexek a gördülőcsapágyak remanens élettartamának statisztikai módszerekkel történő megítélése kapcsán alakultak ki, és időtartományon értelmezzük azokat. A statisztikai módszerek egyszerű és gyors adatkezelést és számítást tesznek lehetővé. Ezek közül a négyzetes középérték (RMS), a ferdeség (S_k), a kurtosis (K) és a Crest-tényező (C) a

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k^2}, \quad S_k = \frac{M_3}{\sigma_3},$$

$$K = \frac{M_4}{\sigma_4}, \quad C = \frac{\max(\text{Ampl.})}{RMS} \quad (1)$$

kifejezésekkel definiálhatók. Az alábbi diagram például az RMS index időbeli változását mutatja.

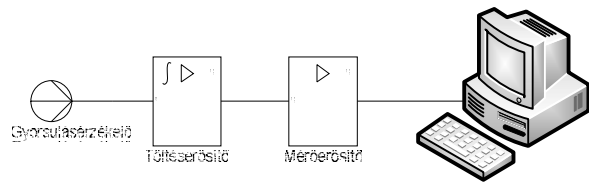


1. ábra. A statisztikai indexek élettartam diagramja [4]

A diagramon jellegzetes pontok figyelhetők meg, ahol a diagram változási gyorsasága, valamint trendje hirtelen változást szenved. Ezek a pontok újabb defektusok megjelenéséhez, illetve a meg lévők továbbfejlődéséhez köthetők. A továbbiakban az ilyen vizsgálatok elvégzéséhez szükséges mérőlánc felépítését mutatjuk be.

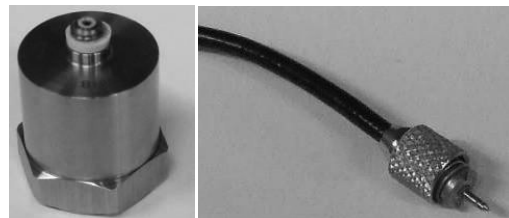
4. A MÉRŐLÁNC

A rezgésmérés műszerlánc a mindenkori mérési cél függvénye. Más műszerezést követel meg egy laboratóriumi mérés, vagy egy üzemben történő mérés, esetleg az üzemben megvalósított folyamatos rezgésfelügyelet. Itt mérési pontossági, gazdaságossági, kezelhetőségi szempontok egyaránt felmerülnek. Minden műszerlánc rendelkezik azonban valamilyen rezgésérzékelővel, előerősítővel és kijelző, kiértékelő műszerrel. Az erősítőegységek tartalmazzák a megfelelő szűrőegységeket is.



2. ábra. A rezgésdiagnosztika mérőlánc

Az általunk alkalmazott, Brül&Kjaer gyártmányú, 4370 típusjelű gyorsulásérzékelő a standard pontosságú és érzékenységgű érzékelők közé tartozik, üzemi körülmények között is megfelelően alkalmazható. Pontossága ennek a típusnak a legkisebb, azonban a vizsgálatok során trendfelvételre kívánjuk alkalmazni. Kereskedelmi áru, és ezért gazdaságilag is a legkedvezőbb megoldás. Ráadásul ebből a típusból több is található a Szerszámgépek Tanszékén, így hiba eliminációra is hatékonyan fel tudjuk használni őket. Az érzékelő és a teflonszigetelésű jelkábel az alábbi ábrákon látható.



3. ábra. A piezoelektromos rezgésérzékelő és a jelkábel

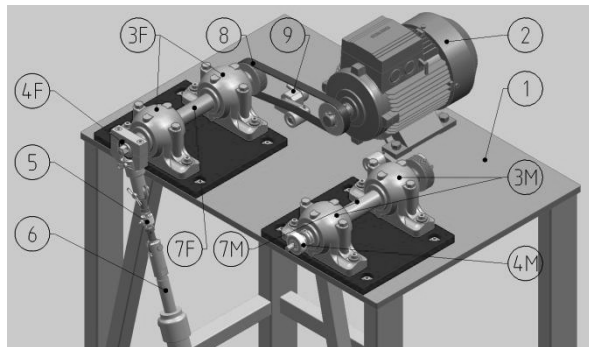
A vizsgálatok során az érzékelő rögzítését állandó mágnes segítségével oldjuk meg. A teflonszigetelésű jelkábel alkalmazására az átvezetési ellenállás magas értéken ($R_e > 10^{12} \Omega$) való tartása miatt van szükség.

A jelátalakítás terén olyan megoldást kell választanunk, amely egyrészt független a kábelkapacitástól, másrészt – bár ez esetünkben annyira nem lényeges – képes megoldani a nagy időállandó igényt ($\tau \rightarrow \infty$). E két problémát egyidejűleg oldhatjuk meg töltéserősítő alkalmazásával. A töltéserősítési elv kidolgozása W. P. Kistler svájci fizikus nevéhez fűződik, találmánya 1950-ben lett szabadalmaztatva. A töltéserősítő kimenetén $\pm 10V$ tartományba eső analóg mérőjelet kapunk. Ezt közvetlenül nem tudjuk számítógépbe vezetni, ezért egy mérőerősítő közbeiktatása is szükséges.

Mérőerősítőként egy HBM gyártmányú, SPIDER típusú, nyolccsatornás normál erősítőt alkalmazunk. Ez párhuzamos kimeneten keresztül csatlakozik a kiértékelő szoftvert tartalmazó számítógéphez. Minta-vételi frekvenciaként $f_s = 9,6 \text{ kHz}$ értéket állítunk be. Megjegyezzük, hogy a gyorsulásérzékelő $4,8 \text{ kHz}$ -ig használható torzításmentesen.

5. A VIZSGÁLÓ BERENDEZÉS

A berendezés fő egységeit az alábbi ábra mutatja (4. ábra).



4. ábra. A csapágyvizsgáló berendezés

Az ábrán két orsó különböztethető meg. A baloldali orsó (7F) kizárólag a fásztást végzi, a jobb oldalon lévő pedig a vizsgáló orsó (7M). Ez utóbbin vesszük fel a remanens élettartam becsléséhez szükséges mérési adatokat. A két orsó csapágyazásukban különbözik egymástól: a fásztó orsó masszív, kétsoros, önbeálló golyóscsapágyakon (3F), a mérő orsó pedig SKF gyártmányú siklócsapágyakon (3M) fut. Így szándékozzuk kiküszöbölni a masszív gördülő csapágyazásból eredő rezgéseket. A vizsgálandó csapágyak a tengelycsapokra illeszthető szerelt házban (4F) helyezük

el, és a mérés-fásztási ciklusok váltogatásakor házastul helyezük a megfelelő orsócsapra. Az orsókat egy SIEMENS, frekvenciaváltóval vezérelt villamosmotor (2) hajtja. Mind a fásztási, mind pedig a mérőfordulatszám $n_m = 1500 \text{ 1/min}$, amely érték $f_m = 25 \text{ Hz}$ -es frekvenciának felel meg. Az ábrán megfigyelhető hidraulikus henger a műterhelést biztosítja. A terhelő erő értékét fásztás esetén 10 kN -nak, mérés esetén 2 kN -nak választjuk, így a mérőorsó siklócsapágyának élettartama csak elhanyagolható mértékben változik a vizsgálatok során.

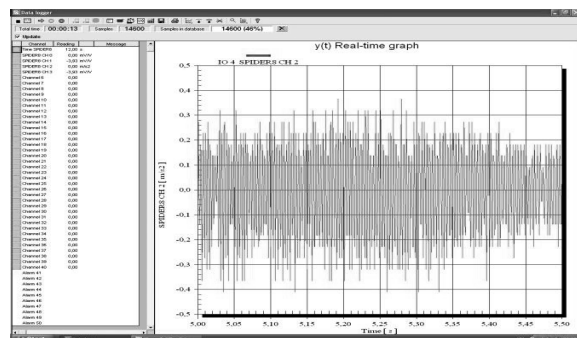
A vizsgálatba vont 6303Z típusú golyós csapágyak jellegzetes hibafrekvenciáit az alábbi táblázat foglalja össze, figyelembe véve, hogy a belső gyűrű forog.

Jellegzetes hibafrekvenciák	
Belsőgyűrű frekvencia	$\approx 110.62 \text{ Hz}$
Külsőgyűrű frekvencia	$\approx 64.37 \text{ Hz}$
Gördülőtest frekvencia	$\approx 44 \text{ Hz}$
Gördülőtest hibafrekvencia	$\approx 88 \text{ Hz}$
Kosárfrekvencia	$\approx 9.12 \text{ Hz}$

1. táblázat Jellegzetes hibafrekvenciák

6. ADATRÖGZÍTÉS

Ezt a HBM által forgalmazott CATMAN 4.0 mérő-szoftver segítségével végeztük. A spektrumanalízis (FFT) miatt egyszerre 2^N ($N \in \mathbb{Z}^+$) számú mintát rögzítettünk (5. ábra).

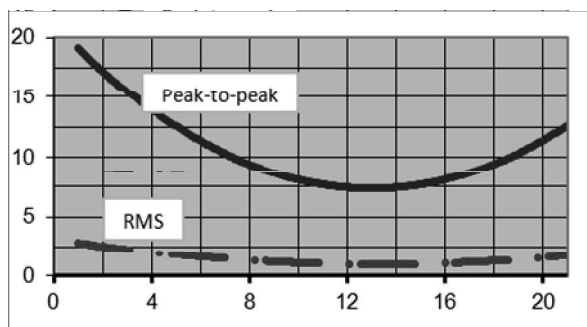


5. ábra. Rezgéskép az időtartományon

Egy-egy mérés során 8-10 db rezgésképet rögzítünk .xls formátumban, melyeket aztán – DC jel szűrést követően – text fájlként mentettünk el adatkiértékeléshez.

7. ADATKIÉRTÉKELÉS

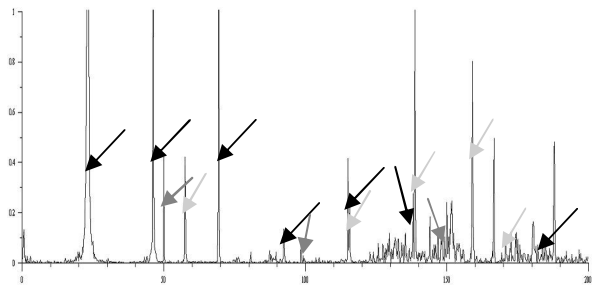
A rögzített adatok kiértékelését mind frekvencia- – spektrum analízis –, mind pedig időtartományon – statisztikai indexek segítségével – is elvégeztük. A kiértékeléshez használt programokat szimbolikus nyelven, Maple12 környezetben írtuk meg, amely .txt fájlokat olvas be, és dolgoz fel. Ennek során kiszámolja az egy mérési sorozaton belül felvett összes minta esetében az (1) értékeket, majd képezi az egyes statisztikai jellemző egy mérési sorozaton belüli mintákra vonatkozó átlagát. Az alábbi diagramrészlet jellegzetes (RMS szaggatott vonal, Peak-to-peak folytonos vonal) statisztikai jellemzők egy-egy – összesen 21 darab – mérési sorozatra vonatkozó átlagértékeit jeleníti meg. A vízszintes tengelyen a minta sorszámat tüntettük fel.



6. ábra. Statisztikai élettartam indexek trendje

Az így felvett élettartam görbék a későbbiekben jól használhatók hasonló típusú, használt csapágyak élettartamának, illetve remanens élettartamának interpolációval történő becslésére. A fenti ábrán a csapágy bejáródási ciklusa figyelhető meg.

Ugyancsak Maple12 környezetben megírt programot alkalmaztunk a csapágyhibák és ezen keresztül a csapágyállapot felderítésére és becslésére. Az 5. ábra rezgésdiagramját felhasználva FFT analízis segítségével állítottuk elő egy-egy regisztrátum spektrumát, és követtük nyomon a spektrumvonalak fejlődését, a jellegzetes csapágyhibák kialakulásával összefüggő újabb csúcsok megjelenését (7. ábra). Az ábrán feltüntetett fekete nyilak a forgási frekvenciát (amely a slip miatt csak $f_f = 23\text{Hz}$), illetve annak felharmonikusait jelölik, a piros nyilak a hálózati frekvenciát, valamint annak egész számú többszöröseit mutatják. Elsősorban a jellegzetes hibafrekvenciákat próbáltuk beazonosítani, és ezek fejlődését detektálni. Ennek megfelelően jellegzetes hibafrekvenciákat jelölnek a kék nyilak, sorrendben az alábbiakat: $BPFO = 57\text{Hz}$, $2 \times BPFO = 114\text{Hz}$, $2 \times BPFO + f_f = 137\text{Hz}$, $2 \times RDF = 158\text{Hz}$, $3 \times BPFO = 171\text{Hz}$.



7. ábra. Egy jellegzetes gördülőcsapágy spektrum.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A rezgésdiagnosztika diagnosztika műszerezettségé minden tekintetben létezik a Szerszámgépek Tanszékén. Ugyanakkor ipari körülmények között is könnyen kivitelezhető, élesben elvégezhető a remanens élettartamra vonatkozó vizsgálatok. A vizsgált adathalmaz a bemutatott statisztikai indexek segítségével könnyen számszerűsíthető és időbeli trendje is nyomon követhető. Megfelelően tükrözi a csapágy állapotát, ipari alkalmazása egyszerű.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg

This research was carried out as part of the TAMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 project with support by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

IRODALOM

- [1] KÉGL, T., SZABÓ, J.: Műszaki diagnosztika. Bánki Donát Műszaki Főiskola, Jegyzet 1993.
- [2] LIPOVSZKY, Gy., SÓLYOMVÁRI, K., VARGA, G.: Gépek rezgésvizsgálata és a karbantartás. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.
- [3] TANDON, N., CHOUDHURY, A.: A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings. Tribology International 32 (1999) 469-480.
- [4] KARACAY, T., AKTURK, N.: Experimental diagnostics of ball bearings using statistical and experimental methods. Tribology International 42 (2009) 836-843.
- [5] BRÜEL & KJAER: Gépállapot-felügyelet. SPECTRIS Components Kft., B&K Division, Budapest, 1988.