X. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2005. március 18-19.

TENGELYBEÁLLÍTÁSI HIBÁVAL TERHELT MOTOR –TENGELYKAPCSOLÓ - SZIVATTYÚ GÉPCSOPORT REZGÉSANALÍZISE

Bene László, Albert Miklós, Forgács Endre, Terpó György

Abstract

Proper shaft alignment of rotating machinery is very important part of safety operation. Shaft misalignment through couplings often leads to severe machinery problems, such as overload of bearings, high casing temperatures at or near the bearings, excessive amount of oil leakage, higher than normal energy consumption, excessive coupling abrasion. Experimental studies were performed on a test apparatus to determine the relationships between the types of couplings (rigid, flexible and Oldham) and the RMS of vibration velocity. The experiments were performed on a test apparatus which are firmly mounted on a steel base plate. During the experiments the pump remained fixed, while the electric motor was adjusted vertical and horizontal directions. The derived spectra show that unbalance and misalignment can be characterised primarily by one and two times shaft running speed, respectively. However, misalignment effects at times may not be apparent because the forcing frequency of misalignment (two times shaft running speed) is not close enough to one of the system natural frequencies to excite the system appreciably. On the other hand, if $2 \times$ shaft running speed is at or close to one of the system natural frequencies, the misalignment effect can be amplified and a high frequency density level at $2 \times$ shaft running speed is pronounced in the frequency spectrum.

Összefoglalás

Forgó gépi berendezések megfelelő tengelyhelyzete az üzembiztos működés elengedhetetlen feltétele. A tengely beállítási hibák komoly műszaki problémákat idéznek elő [1], mint csapágytúlterhelés, résgyűrű kopás, kenési zavarok, a tengelykapcsoló túlzott kopása stb. Kísérleteink során arra kerestük a választ, hogy milyen összefüggés van a tengelykapcsolók típusa (merev, rugalmas, radiális kiegyenlítő) és a rezgéseesség effektív értéke között. Vizsgálatainkat kísérleti gépcsoporton végeztük, melyet merev géalapra szereltünk. A szivattyú rögzített helyzetben maradt a vizsgálatok során, addig a villanymotor pozícióját állítottuk vízszintes és függőleges irányban. A kísérletek során kapott spektrumok egyértelműen mutatják, hogy $1 \times$ tengelyfordulatszám frekvencián kiegyensúlyozatlanság, $2 \times$ tengelyfordulatszám frekvencián tengely beállítási hiba ad jellegzetes rezgéképet. Azonban a tengely beállítási hibák abban az esetben nem adnak jellegzetes rezgéképet (rejtve maradnak), ha a rendszer saját frekvenciái távol esnek a kétszeres tengelyfordulatszám frekvenciától. Másrészt,

ha a kétszeres tengelyfordulatszám közel esik a rendszer valamelyik saját frekvenciájához, a tengely beállítási hibajel megerősödhet, és jelentősen megnövekedett rezgésspektrumot produkál.

Bevezetés

Kísérletsorozatunk alapvető célja különböző nagyságú tengely beállítási hibával rendelkező gépegység (szivattyú – tengelykapcsoló - villanymotor) rezgésanalízise, melynek alapján meghatározzuk a tengelybeállítás milyenségét, összefüggést keresvén a rezgés spektruma és a beállítási hiba mértéke között.

Alapvetően a mozgást végző gépek mindegyike rezeg, rezgéseket kelt, melyek jellemzőek a gépegységekre gépalkatrészekre. Ezen rezgéseket megfelelő műszerekkel jól regisztrálhatjuk és elemezhetjük. Mivel az iparban használt gépek jelentős része forgómozgást végez, tengelyeik tökéletes helyzete illetve ezek beállítási hibája az üzembiztos működés kulcskérdése.

Anyagok és módszerek

Kutatásainkat az SZTE SZÉF diagnosztikai laboratóriumában végeztük. Merev gépalapra (36mm vastagságú kazánlemez) fixen rögzítettünk egy 12/36 jelű bakcsapágyas centrifugál szivattyút a csatlakozó csővezeték rendszerrel. A hajtó villanymotor állíthatóságát oldottuk meg vízszintes és függőleges irányban. Vízszintes irányban finommenetes csavarorsós állítást valósítottunk meg, függőleges irányban pedig hézagoló lemezeket használtunk (1. ábra).

1. ábra: A villanymotor pozicionálása

A két gépegységet különböző típusú tengelykapcsolókkal kapcsoltuk össze. Ezek: merev tárcsás, négyelemes gumidugós, hatelemes gumidugós és Oldham radiális kiegyenlítő tengelykapcsoló. Mivel tökéletes tengelyhelyzet és kiegyensúlyozottság a valóságban soha sem érhető el, ezért egy alaphelyzetet hoztunk létre bázisként viszonylag tökéletes beállítással, és itt láthatók a meglévő tengely beállítási, kiegyensúlyozatlansági hibák.

A tengelybeállítást FIXTURLASER SHAFT⁵⁰ lézeres tengelybeállító készlettel végeztük. Működésének elvi alapja a fordított mérőórás mérési elv [2]. Acélrudak és mérőórák helyett a rendszer két lézersugarat használ. A lézersugaraknál nem beszélhetünk lehajlásról szemben a mechanikus mérőeszközökkel, ami a rendszer nagy pontosságát biztosítja (10m távolságban 0,01mm). A két mérőfejes műszer érintő képernyője a gyors és pontos tengelybeállítást teszi lehetővé.

2. ábra: A tengelybeállítás folyamata

A rezgésspektrumok felvételéhez tíz mérési pontot alakítottunk ki. A négy helyen csapágyazott rendszer (két csapágy a szivattyútengelyen, két csapágy a villanymotor tengelyen) mindegyik csapágyánál függőleges és vízszintes irányban, valamint a motoron és a szivattyún vízszintes irányban egyet- egyet. Az így kapott tíz mérési ponton meghatározott sorrendben végeztük a méréseket. Az alkalmazott mérőműszer a MICROLOG CMVA 10 rezgésmérő, adatgyűjtő, analízáló készülék, amely PRISM 4 FOR WINDOWS programmal rendelkezik. Keskenysávú rezgéskép felvételt végeztünk, mivel a tengely és a hozzá kapcsolódó csapágy, járókerék ventilátor rezgéseit és ezek felharmonikusait kell analizálni. A műszer a Fourier – transzformáció elvét alkalmazza, és a rezgésebség effektív értékét méri (RMS).

$$v_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt}$$

A négyzetre emelés megoldja a negatív területek problémáját, igaz torzítja magát a függvényt. Mivel ez az átlag fejezi ki legjobban a rezgés energiáját, így ezt használjuk leginkább. A kapott spektrumok elemzése a rezgésdiagnosztika leglényegesebb része. Ehhez nélkülözhetetlen a vizsgált berendezés tökéletes ismerete (csapágyak, tengelykapcsoló, járókerék-, ventilátor-lapátszám stb.). Meg kell határozni a tengelyfordulatszám frekvenciát és ennek felharmonikusait.

$$f_0 = n_0/60 [Hz]$$

3. ábra: Elméleti spektrum ábrázolása

Az ábra jól szemlélteti, hogy a spektrumban megjelenő szignifikáns értékek az f_0 tengelyfordulatszám frekvencia többszörösei. Különösen lényeges a tengelyhelyzet szempontjából a 2xRPM frekvencia érték.

4. ábra: Valóságos frekvencia spektrum

A mérőműszerünk összetett rezgésképet rögzít, melyet jellegéről vízesés (waterfall) diagrammnak nevezünk.

5. ábra: Vízesés/waterfall diagramm

A diagrammban a frekvencia és a rezgéssebesség függvényében láthatjuk az egyes mérési pontok frekvencia spektrumait. Ezen diagrammok elemzése alapján jutottunk kutatási eredményeinkhez.

Eredmények, javaslatok

Vizsgálataink egyértelműen igazolták, hogy f_0 -nál kiegyensúlyozatlanság, $2xf_0$ -nál tengely beállítási hiba jelentkezik. Nagyobb beállítási hibához nem feltétlenül tartozik nagyobb sebesség amplitúdó jel növekedés [3]. Abban az esetben, ha a rendszer saját frekvenciái távol esnek a kétszeres tengely fordulatszám frekvenciától, a beállítási hibák rejtve maradnak (ami nem jelenti a tökéletes beállítást), illetve egybe- vagy közepes esetén a jel jelentősen megnövekedhet a frekvencia spektrumban.

A beállítási hibák okozta rezgésspektrumokat jelentősen befolyásolja a gépalap merevsége. Rugalmas gépalapok esetén közel 1.5-szeres rezgésértékeket kaptunk. Esetenként nagyobb beállítási hibát akarunk megvalósítani, mint a tengelykapcsoló gyártási tűrése.

- [1] F. Dömötör A rezgésdiagnosztika elemei SKF Svéd Golyóscsapágy Rt. Budaörs, 1996
- [2] J. Piotrowszki Shaft Alignment Handbook. Marcel Dekker New York 1986, 44-45
- [3] G. Simon Prediction of vibration of large turbo-machinery on elastic foundation due to unbalance and coupling misalignment. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 1992, Vol.206, 29-39

Bene László főiskolai adjunktus

SZTE SZÉF H-6725 Szeged, Mars tér:7

Telefon: +36 62 546 000/6509 Fax 36 62 546 034 bene@szef.u-szeged.hu