

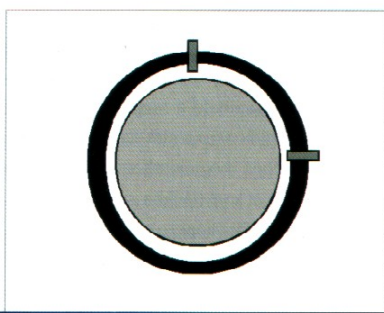
Tűzoltás és nagyjavítás helyett

Állapotfüggő karbantartás rezgésdiagnosztikával (XIV.)

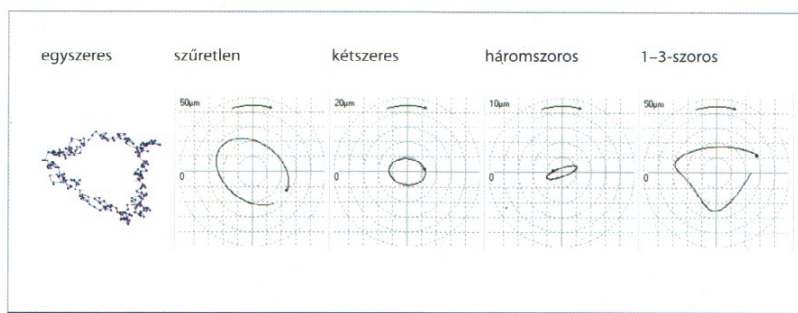
A siklócsapágyas gépek esetében a csapágybaknak az előző részben (*GyártásTrend* 2009/6.) bemutatott rezgésmérése helyett van egy sokkal hatékonyabb, a siklócsapágyazás és ezen keresztül a géphibák kimutatására alkalmas módszer, a relatív tengelyrezgés mérése, amelynek az alábbiakban olvasható ismertetése után nyilvánvalóvá válhat, miért alkalmasabb a sikló-csapágyazású gépek vizsgálatára, és milyen járulékos információkat szolgáltatathat.

> A RELATÍV TENGEYREZGÉST minden esetben két, általában egymásra merőleges – V alakban vagy vízszintesen és függőlegesen elhelyezett – távolságérzékelővel (örvényáramú elmozdulásérzékelővel) mérik. Ezzel az érzékelőelrendezéssel biztosítható, hogy a csap csapágyon belüli mozgása is leképezhető legyen. Megjeleníthető tehát az úgynevezett kinetikus pályagörbe vagy más néven orbit, a relatív tengelycsap-pozíció, valamint az alakhiba, illetve a teljes spektrum (full spectrum) is. A következőkben ezeket az alapfogalmakat magyarázzuk el.

□ Alakhiba (slow roll) A slow roll az alacsony fordulatszámokon – turbináknál akár tengelyforgató üzemben – mért pályagörbe, amelyet szintén képezhetünk szűretlen időjelből, illetve szűrt, vektoriális tengelyrezgési adatokból. A slow roll gyakorlatilag megmutatja a mért felület egyenetlenségeit, a tengely geometriai (alak-) hibáját, valamint következtetni lehet tengelygörbeségre, tengelyvonal-beállítási hibára, tengelyrepedésre stb. Rendkívül nagy szerepe van az üzemi tengelyrezgésadatok kiértékelésében is, jelentősen befolyásol-



1 Az érzékelők elhelyezése



2 Vektoriális pályagörbék szűretlen, szűrt és összevont szűrt megjelenítéssel

Megjelenítési lehetőségek

□ Kinetikus pályagörbe vagy orbit
A kinetikus pályagörbe (orbit) kiszámítása két, egymásra merőlegesen (általában vízszintesen és függőlegesen) elhelyezett távolságérzékelő egy időben (szimultán) rögzített időjeléből történik. A pályagörbe előállítható teljes, szűretlen időjelből (hullámforma) és szűrt, vektoriális értékekből. A vektoriális leképzésnél lehetőség van a forgási, kétszeres forgási és háromszoros forgási összetevők ábrázolására külön-külön és egyben is. A szűretlen és az összevont vektoriális pályagörbének általában már erős hasonlóságot kell mutatnia. Ha ez nem így van, akkor vagy törtharmonikus rezgésösszetevők vannak jelen, vagy a vizsgált tengelyfelület erősen egyenetlen.

□ Tengelycsap-pozíció, tengelyfelúszás
A tengelycsap-pozíció a tengelycsap mindenkor átlagos (elméleti) forgástengelyének relatív helyzetét mutatja. Rendkívül sok diagnosztikai információt nyújt a tengelycsap-pozíció felfutás, illetve annak üzem közbeni változása a gép állapotáról.

A RELATÍV TENGEYREZGÉS MÉRÉSÉVEL OLYAN BIZTOS DIAGNOSZTIKAI INFORMÁCIÓ NYERHETŐ, AMELY MÁS MÓDON NEM SZEREZHETŐ MEG.

hatja ugyanis az adott gép állapotáról alkotott véleményünket, ha az üzemi tengelyrezgésadatokat kompenzáljuk a slow roll vektorral. Nem ritkán kiemelkedően magas tengelyrezgésértékeket mérünk üzemi fordulatszámon, vagy erős torzulást tapasztalunk a pályagörbékben, így jelentős – akár a gép leállítását követelő – hibára gondolunk. A mért tengelyfelület nagy geometriai hibájának (például ovalitás) slow rollal történő kompenzálását követően azonban

ban a tengelyrezgések már elfogadható (akár jó) szintre csökkennek, és a pályagörbe erős torzulása megszűnik.

Megengedhető relatív tengelyrezgésértékek

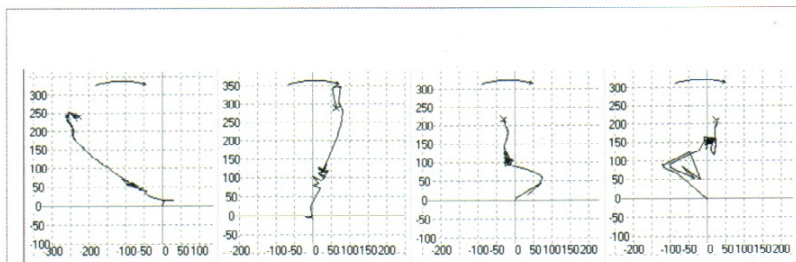
Az orbit alakjából fontos diagnosztikai információk nyerhetők, kimutatható az egyensúlyhiba, a csapágykenés problémája, a besúrolás, a tengely radiális előterhelése (tengelyvonalhiba), a megnövekedett csapágyhézag és egyéb fellazulás, a tengelyrepedés stb. A relatív tengelyrezgésmérés az analízisen, a diagnosztikai információkon túlmenően a gép védel-

me szempontjából is döntő jelentőségű lehet. A csap mozgásának szélső határhelyzete természetesen a csapágyhézag, a megengedhető maximális relatív tengelyrezgésnek ennél kisebbnek kell lenni. Szabványok rögzítik a relatív tengelyrezgések megengedhető szintjeit. A szabványok bizonyos típusai a két érzékelő jelének vektoros összegét, az úgynevezett s_{max} -ot értékelik, míg más (amerikai) szabványok szerint a két jel közül a nagyobbakat kell a diagramok-

következő kategóriák léteznek: *A* folyamatosan, korlátozás nélkül üzemben tartható, *B* elfogadható rezgések, egyelőre a javítás nem indokolt, *C* folyamatosan üzem nem javasolt, fel kell készülni a gép javítására.

Tengelyrezgésméréssel kimutatható hibák

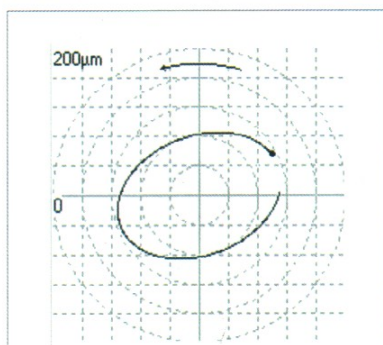
■ **Kiegyensúlyozatlanság** Az egyensúlyhiba minden esetben a belső erő (a forgórészt kimozdítani igyekvő centrifugális erő) növekedésével jár. A forgórészt



3

Tipikus tengelycsaphelyzet-változások felfutás közben

ban megadott értékekhez hasonlítani. E szabványokban „jó”, „megfelelő”, „javítani szükséges” és „megengedhetetlen” kategóriát különböztetnek meg, de a gépek típusának és teljesítményének megfelelően külön-külön adják meg a megengedhető szinteket. Természetesen a fordulatszám függvényében is más-más szint a normális.



4

Kiegyensúlyozatlanság esetén mérhető orbitgörbe

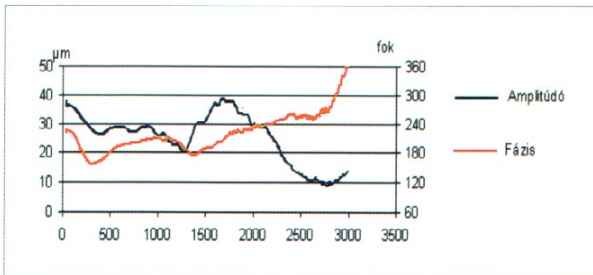
Mint jeleztük, a megengedhető tengelyrezgésértékeket – az effektív rezgése sebességhez hasonlóan – az egyes géptípusokra vonatkozó szabványok rögzítik. Például a gőzturbinák megengedhető tengelyrezgésértékeire a

minél nagyobb erő igyekszik a forgástengelyéből kimozdítani, a csapközép a siklócsapágyban annál nagyobb (forgási frekvenciájú) pályagörbét ír le. Tehát minél nagyobb az egyensúlyhiba, annál nagyobb – általában „szép” kerek – orbitor kapunk. Ha lehetőség van változó fordulatszámú tengelyrezgésmérésekre is, és van referenciaadatunk a gép állapotáról, akkor a felfutások (vagy kifutások) összehasonlításával is következtethetünk egyensúlyhiba kialakulására.

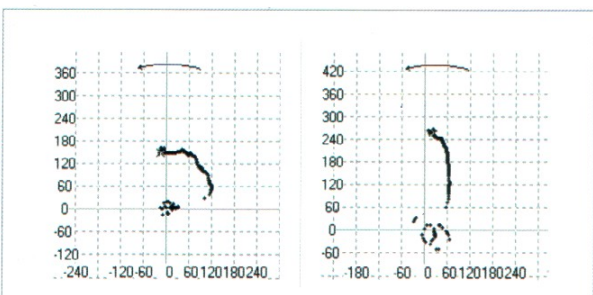
■ **Tengelygörbeség** Görbe tengely esetében üzem közben az egyensúlyhibánál látott nagy és kerek pályagörbét kapunk, tehát lényeges különbség nem mutatkozik. Ha azonban van lehetőségünk leállás- vagy felfutásvizsgálatra, úgy tengelygörbeség esetén alacsony fordulatszámon is nagy tengelyrezgéseket (igazából alakhibát) fogunk mérni.

■ **Egytengelyűségi hiba** Egytengelyűségi hiba esetén a tengely a csapágyban elő van feszítve, ezért mind a felfutás során mért relatív tengelycsap-pozíció változása, mind a tengelycsap üzemi pályagörbéje eltér a normálistól. Felfutáskor a tengelycsap valamelyik (esetenként mindkét) irányban túl keveset, vagy túl sokat mozdul el. Normális esetben a függőleges irányú emelkedés a csapágyhézag mintegy 30–40 százaléka.

Üzem közben a kialakult pályagörbében is erős torzulások mutatkoznak. (Figyelem, a torzulások pontos értékeléséhez az alakhibával – a slow roll vektorral – kompenzálni kell az üzemi méréseket.) Ha van referenciaadatunk (mennyi ebből a tengely tényleges alakhibája), akkor a számszerű értékekből meg tudjuk pontosan határozni a szükséges korrekció mértékét.



5 Tengelygörbeség esetén már alacsony fordulatszámon tapasztalhatók jelentős tengelyrezgések



6 Egy megfeszített és egy „normál” állapotú tengely emelkedése felfutás közben

■ **Rezonancia** A rezonanciakeresést pont ugyanolyan módon kell elvégezni, mint ahogy ezt a „hagyományos” (csapágybakon történő) rezgésmérés fejezetében tárgyaltuk. A rezonancián való áthaladáskor kiugróan nagy amplitúdóérték mellett közel 180°-os fázisváltozás következik be.

■ **Besúrolás** A forgórész és az állórész érintkezése lehet pontszerű és körkörös. Pontszerű érintkezés esetén az állórész és a forgórész összecsúszások keletkező ütés kimozdítja a forgórészt a normális pályájáról, majd újabb érintkezés következik, de ekkor már máshol, és így tovább. Mindezek következménye akkora tengelyrezgés, amely kitölti a rendelkezésre álló teret (csapágyházat) és egy kesze-kusza pályagörbét eredményez.

Körkörös érintkezés esetén a forgórész egy pontja egyensúlyhiya miatt az állórészbe körkörösén besúrol. A besúrolás miatt a tengely melegezni kezd, ezáltal meggyöngyösül. A meggyöngyösült tengelynek megváltozik az egyensúlyállapota, másik pontja fog érintkezni az állórészszel, ezáltal máshol melegszik és görbül. A leírt folyamat miatt a mért tengelyrezgésvektor végpontjának helye üzem közben folyamatosan változik az idő függvényében, polár koordináta-rendszerben ábrázolva akár körbe is járhat.

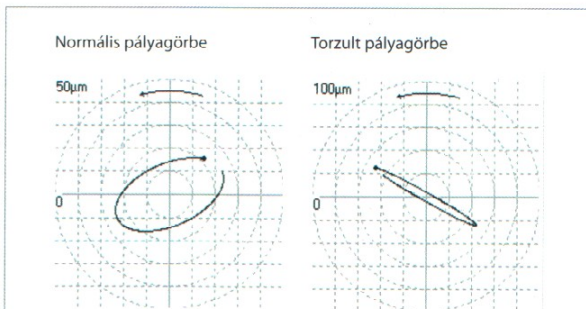
■ **Gépalaphibák** Ha a forgásfrekvenciájú slow roll vektorral kompenzált mérési adatokat tekintve mind a rezonanciafrekvencia, mind a maximális rezonanciaamplitúdó

változik, akkor elsősorban a gépalaprendszer gyengülését, a felfüggesztés lazulását, esetleg – egyéb jelekkel együtt – a tengely repedését lehet feltételezni. Általában a gépek indulása és leállása nem teljesen azonos módon megy végbe, de az indulást az indulással, a kifutást a kifutással feltétlenül érdemes összehasonlítani. Ha a forgógépen belül nincs szerkezeti változás vagy belsőerő-változás, a dinamikus rezgési viselkedésnek (úgy mint a rezonanciafrekvenciák értékei és a csillapítások) a fordulatszám függvényében azonosnak kell lennie. A dinamikus viselkedés változásait a legérzékenyebben és legpontosabban a tengelyrezgésméréssel, ezen adatok Bode- és polárdiagramjain keresztül lehet nyomon követni.

■ **Olajörvénylés** Az olajfilm hibáinak kimutatására a tengelyrezgésmérés a legalkalmasabb módszer. A tengely fel- és kifutása során, valamint az üzem közben mért mozgásából egyértelműen kiszűrhető a hiba és annak természete.

A többletráfördítés megtérül

A hazai rezgésdiagnosztikai gyakorlatban a relatív tengelyrezgésmérés nem terjedt még el igazán, általános alkalmazásától még messze vagyunk. Az okok eléggé nyilvánvalók: egyrészt a tengelyrezgésmérés minimális műszerigénye is lényegesen magasabb (legalább szimultán kétcsatornás, de inkább 8–16 csatornás műszer szükséges), másrészt a mérés kivitelezése sem olyan egyszerű. Nem elegendő az érzéklők rögzítése a csapágyházra, hanem az érzéklők felszereléséhez alkalmas tartókat kell gyártani és rögzíteni, és precízen be kell állítani a tengely és az érzéklő közötti viszonylag kicsi távolságot. E többletmunka azonban nagyon sok esetben megéri a fárado-



Egy „normál” állapotú és egy megfeszített tengely üzem közbeni orbitgörbéje

7

zást, mivel a méréssel olyan biztos diagnosztikai információ nyerhető, amely más módon nem szerezhető meg. Tipikusan ilyen alkalmazási terület a sziklócsapágyakkal ágyazott nagy forgógépek (gőz- és gázturbinák, szivattyúk). A gyorsfordulató gépek esetében például a tengelyrezgésmérés azért gazdaságos ki jól a csapágyrezgésmérést, mert a forgórészen bekövetkező belsőerő-változások rugalmas tengely és merev csapágyház esetén a csapágyházra csak kismértékben láthatók.

Rabné Eric, Szűcs András

pim@pim-kft.hu

www.pim-kft.hu, www.gepszakerto.hu