

Szabó József Zoltán

*Budapesti Műszaki Főiskola Bánki Donát Gépészmérnöki Kar, Gépészeti és Rendszertechnikai Intézet

Rezgéscsökkentés lehetőségei forgórészek helyszíni kiegyensúlyozásával

Bevezetés

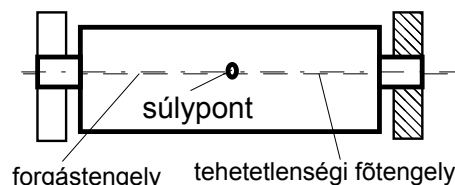
Forgó gépek nem megfelelő üzemelési állapotának (magas rezgésszintjének) egyik leggyakoribb oka kiegyensúlyozatlanság, amely lehet tudatos tervezői szándék (pl. rázószíták, vibrátorok, stb.) következménye is, az üzemekben működő berendezések kb. egynegyedénél azonban akarattunk ellenére jön létre, meghibásodásként jelentkezik. Létrejöttéért legtöbbször a gyártási, szerelési, tervezési és anyaghibák, illetve a kopás, a gép által kezelt anyag felrakódása, a korrózió, vagy a hődeformáció felelősek.

Ha egy forgórész a kiegyensúlyozatlanság állapotába kerül olyan nemkívánatos (előre nem tervezett) erők és nyomatékok keletkeznek, amelyek előbb a gépelemek (elsősorban a csapágyak) majd a berendezés idő előtti tönkremenetelét, sőt közvetve ugyan, de egész gépsorok üzemzavarát, gyáregységek leállítását, termelés-kimaradását is eredményezhetik.

Mivel a kiegyensúlyozatlanság nem más, mint a forgórész tömegelrendezésének hibás állapota, az általa keltett magas rezgéseket okozó erőket és nyomatékokat tudatos kiegyensúlyozási intézkedésekkel (a berendezés rezgésvizsgálata, megfelelő nagyságú tömeg hozzáadás, vagy elvétel a szükséges helyen) az elfogadható szint alá lehet csökkenteni. Előadásomban a kiegyensúlyozatlanság rövid elméleti bemutatásán túlmenően a rezgésmérés során kapott spektrum és fázisszög mérési eredmények kiegyensúlyozatlanságra utaló szimptomáit, majd a magas amplitúdók csökkentésére szolgáló fázisszög méréssel támogatott hatástényező módszert ismertetem. Ezek után egy esettanulmányon keresztül ipari körülmények között mutatom be a módszer gyakorlati hatékonyságát, amely során, az eredetileg veszélyes mértékű statikus kiegyensúlyozatlanságot szinte teljesen, több mint 95%-os hatásfokkal szüntettem meg. A magas-fordulatszámú textiltárcsa (10.000, illetve 20.000 1/min) finom-kiegyensúlyozásának szakmai érdekessége, hogy egyensúlyozó tömegként pillanatragasztót alkalmaztam és az eredetileg magas 2 mm/s körüli rezgésebességet az egyensúlyozási (10.000 1/min) fordulatszámon 0.05 mm/s alá, a maradék kiegyensúlyozatlan tömeget pedig 0,006 grammra sikerült lecsökkenteni.

1. A kiegyensúlyozatlanság fajtái és legfontosabb jellemzői

Egy merev test bármely tengely körül megforgatható, amely egy tetszőlegesen kijelölt forgástengely kialakítását tételezi fel. A forgástengely helye a konstruktóri szándékon a legyártás és a szerelés pontosságán múlik. Ha azt kívánjuk, hogy a test kiegyensúlyozottan forogjon e forgástengely körül, akkor a tengely helyzetének kiválasztása nem történhet tetszőlegesen. Minden merev testnek meghatározható ugyanis a súlypontja és a súlyponton áthaladó - legalább három - tehetetlenségi főtengelye. Ezek egymásra kölcsönösen merőlegesek. A tehetetlenségi főtengelyek abban különböznek az összes többi súlyponti és nem súlyponti tehetetlenségi tengelytől, hogy rájuk nézve a síkra vett - un. deviációs-nyomatékok rendre zérók. A tehetetlenségi főtengely tehát kitüntetett szerepű tengely, a súlytalanság állapotában megforgatott testek - műholdak, vagy az űrhajóban elszabadult testek, ahol tehát nincsenek csapágy-kényszererők - ezen tengelyek körül fognak forogni. Úgy is mondhatnánk, hogy a testek a tehetetlenségi főtengelyek körül

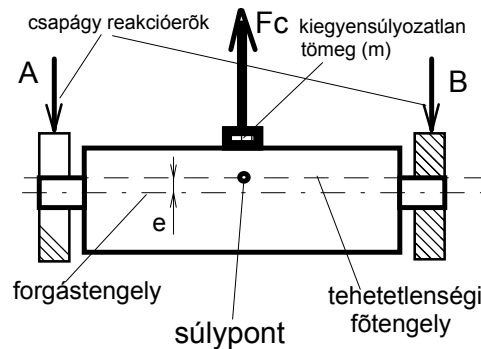


Ábra 1

"szeretnek" forogni. Amikor kiegyensúlyozunk a cél mindig az, hogy a forgástengely éppen egybeessen valamelyik tehetetlenségi főtengellyel. A kiegyensúlyozatlanság jellege éppen ennek a két tengelynek a kölcsönös viszonyától függ. Mint láttuk a tehetetlenségi főtengely a merev test immanens tulajdonsága, a forgástengelyt pedig a géptervezői szándék és a gyártási technológia pontossága határozza meg. A kiegyensúlyozatlanság különböző eseteit a két tengely geometriai viszonya alapján választhatjuk el egymástól. Eszerint az alábbi esetek fordulhatnak elő.

1.1 Az ideális állapot

Az 1. ábrán látható esetben a geometriai és a tehetetlenségi tengely egybeesnek. Ez tehát az az eset, amire a kiegyensúlyozó eljárások során törekedni kell. Ennek eredményeként a csapágyaknál sem kényszererők, sem nyomatók nem jelentkeznek.



1.2 A statikus kiegyensúlyozatlanság

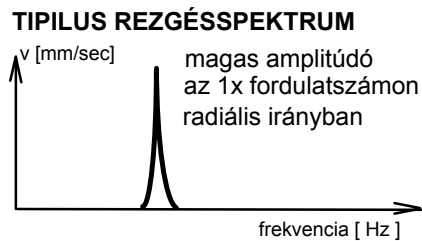
Ha a két tengely a 2. ábrának megfelelően párhuzamos egymással, akkor értelmezhető közöttük egy "e" távolság. Ennek segítségével meghatározható az a centrifugális erő, mely reakcióit lényegében a csapágyak veszik fel.

$$F_c = m \cdot e \cdot \omega^2 \quad [N]$$

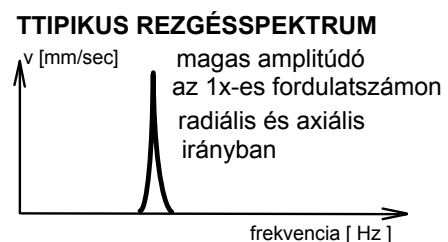
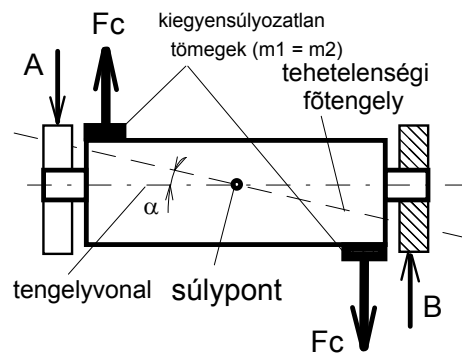
ahol m - a test tömege [kg]

ω - a forgás szögsebessége [1/s]

Ez az ún. *statikus kiegyensúlyozatlanság* esete, melyet sokszor - pl. vibrátoroknál, rázópadoknál - szándékosan állítanak elő. Megszüntetése tömegátrendezéssel - mégpedig egyetlen jól megválasztott helyen történő tömeghozzáadással, vagy elvétellel történhet. A statikus kifejezés jól utal arra is, hogy ezt az eljárást régen nagy lendítőkerekeknél megforgatás nélkül, vízszintes prizmákon végezték mindaddig, amíg a lendkerék bármilyen helyzetben egyensúlyban maradt. A kiegyensúlyozatlanság következtében létrejövő erő és rezgésamplitúdó láthatóan a fordulatszám négyzetével arányos, azaz 2x-es fordulatszám növekedés 4x-es amplitúdó emelkedést eredményez. A kiegyensúlyozatlan forgórészokről készített rezgésspektrumokban mindig jelen van és domináns az 1x-es forgási frekvencia amplitúdója, melyet a 2. ábra is mutat. A fázisszög értékek mindkét csapágyon megegyeznek az azonos irányban felvett méréseknél, ugyanazon csapágy horizontális és vertikális mérései között azonban 90°-os fázisszög különbség van.



Ábra 2



Ábra 3

1.3 Tiszta nyomatók kiegyensúlyozatlanság

A 3. ábrán látható esetben ugyan centrifugális erő nem lép fel, a test statikusan kiegyensúlyozott (hiszen a súlypont rajta van a tengelyvonalon), megforgatáskor azonban előáll egy deviációs nyomaték, melyet a csapágyakon fellépő erópár tart egyensúlyban. A nyomaték nagysága és a csapágyreakciók a következő képen számíthatók.

$$M_D = (\Theta_z - \Theta_x) \cdot \omega^2 \sin \alpha \cos \alpha \quad [Nm]$$

ahol $\Theta_z ; \Theta_x$ - az adott tengelyre számított tehetetlenségek $[N s^2 m]$

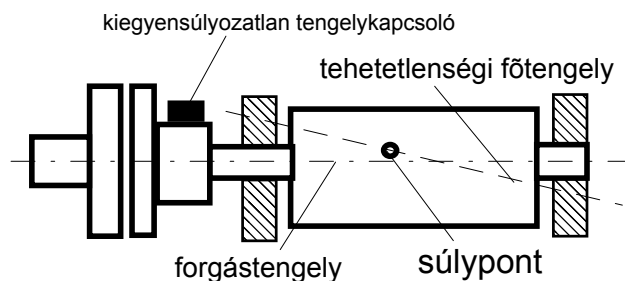
α - a két tengely hajlásszöge

ebből a reakcióerők az alábbi összefüggéssel számíthatók :

$$A = B = \frac{M_D}{a + b} \quad [N]$$

ahol "a" és "b" a csapágy középpontok súlyponttól való távolságát jelentik

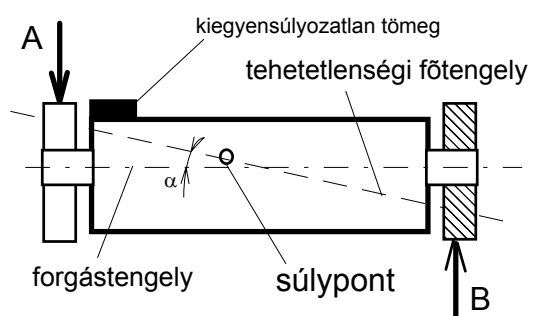
A reakcióerők itt is körbejárnak, feleslegesen terhelve ezzel a csapágyakat. A kiegyensúlyozatlanság ez esetben csak forgatás közben áll elő, speciális esetükben "tiszta nyomaték-kiegyensúlyozatlanság"-ról van szó. Egyszerűen belátható, hogy itt legalább két síkban - mégpedig lehetőleg minél távolabbi síkban - kell tömegátcsoportosítást végrehajtani. A tömegelvetel, vagy hozzáadás egyenlő mértékben egymással szembefekvő, tehát 180° -os szöget bezáró helyeken történik. Az 1x-es amplitúdó itt is domináns, de itt már axiális irányban is kimutatható. Az A és B csapágy horizontális és vertikális irányát külön-külön tekintve az egyes irányokban 180° -os fázisszög különbséget tapasztalunk, egy csapágy horizontális és vertikális irányát tekintve azonban a két különböző irányból készített mérés között itt is megmarad a 90° -os fázisszög különbség.



Ábra 4

1.4 Kvázi-statikusan kiegyensúlyozatlanság

A kvázi-statikusan kiegyensúlyozatlanság - amint a 4. ábrán is látható - a statikus és a tiszta nyomaték kiegyensúlyozatlanság olyan kombinációja, amikor a forgástengely és a tehetetlenségi főtengely metszik egymást, de nem a forgórész súlypontjában. Ez az eset gyakran fordul elő akkor, amikor egy tökéletesen kiegyensúlyozott forgórészt kiegyensúlyozatlan (vagy excentrikus) tengelykapcsolóval kötünk össze, ilyenkor az 5. ábrának megfelelő helyzetbe kerülnek a tengelyek. Az amplitúdó és fázisszög összefüggések ilyenkor hasonlóak a nyomaték kiegyensúlyozatlansághoz, a korrekciónál viszont elegendő egyetlen jól kiszámított tömeg felhelyezése a tengelykapcsoló kiegyensúlyozatlan helyétől 180° -ra.



Ábra 5

1.5 Általános dinamikus kiegyensúlyozatlanság

Ez a típus a kiegyensúlyozatlanság legáltalánosabb esete. Amint a 6. ábrán is látható a kiegyensúlyozatlanságot okozó tömegek egymástól nem 180° -ra helyezkednek el és a két tömeg sem azonos nagyságú. Ebből következik, hogy a két kitüntetett tengely helyzete egymáshoz képest kitérő lesz, azaz a tehetetlenségi főtengety nem halad át forgástengelyen. A rezgésspektrumokban továbbra is az 1x-es forgási frekvencián radiális és axiális irányban kiemelkedő magas rezgésamplitúdó fogja jellemezni probléma okát, azonban a két csapágyon nem azonos mértékű, illetve 0 és 180° között bármilyen (a tömeg-elrendezésnek megfelelő) fázisszög különbségű amplitúdók fognak jelentkezni. A hiba korrekcióját csak min. két síkban lehet végrehajtani a kiegyensúlyozatlanságot okozó tömegekkel szemben azonos mértékű hozzáadással, vagy a tömegek helyén megfelelő tömegelvétellel.

2. A mérések során alkalmazott eszközök és módszerek, a hatás tényezők alapuló kiegyensúlyozás jellemzői

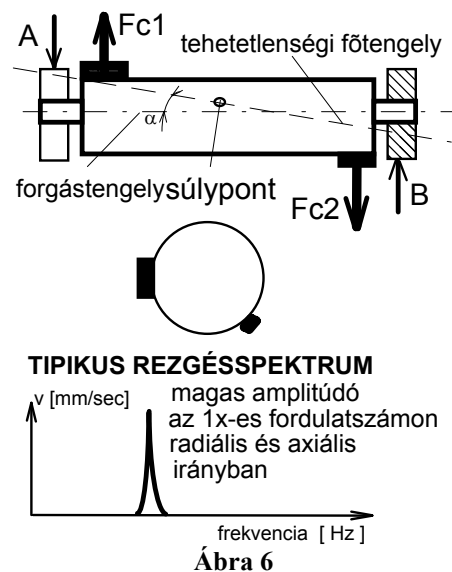
Az [1.] szakirodalom a most bemutatásra kerülő módszereken kívül olyan mérési eljárásokat is bemutat, amelyek elvégzéséhez valamilyen egyszerű kézi rezgésmérő műszer is elegendő. Ezek a műszerek általában igen olcsók és segítségükkel a gépek rezgésállapota, valamint a kiegyensúlyozatlanság mértéke gyorsan meghatározható. Hátrányuk azonban, hogy az effektív rezgéssebességen (esetleg egy - két más effektív értéken) túlmenően több információt nem szolgáltatnak. További hátrány, hogy bár az ún. 15-pont módszer igen pontos, de túl időigényes és nagyobb rotorok esetében általában nincs lehetőség 17 indításra, mivel a szándékosan bevitt kiegyensúlyozatlanság már a mérések folyamán tönkretelheti a beállítandó gépegység csapágyait.

A "három-pont" módszerek már kevesebb indítást igényelnek, azonban a szerkesztés és a számítás szintén jelentős időt igényel és az említett 6, illetve 5 indítás után is csak maximálisan 70 %-os kiegyensúlyozottságot érhetünk el, ami sok esetben még nem elegendő.

Ezen hiányosságok kiküszöbölésére dolgozták ki azokat a módszereket, amelyek a rezgésamplitúdó mérés mellett a kiegyensúlyozatlanság helyének megállapítását a fázisszög mérésével oldják meg. Több külföldi gyártó cég is kidolgozott ilyen módszereket, amelyek közül most az SKF által gyártott MICROLOG CMVA 10 típusú hordozható rezgésanalizátorba épített BALANCING Kiegyensúlyozó Modult ismertetem.

E módszer esetében is szükséges elvégezni egy ún. referencia futtatást és egy próbatömeg felhelyezésével történő mérést. Ezek a rotor kiegyensúlyozatlan állapotára jellemző mérési eredményeket szolgáltatják, azonban a fázisszög mérésével és a műszerbe épített számítógéppel a szerkesztés és a közbenső számítás teljes mértékben kiküszöbölhető. Itt is szükség van még további indításokra is, azonban a szükséges korrekciók értékét a számítógép igen pontosan meg tudja határozni, így a referencia futást követően mindössze két további mérés szükséges a tökéletes kiegyensúlyozás eléréséhez.

A MICROLOG az egyensúlyozó művelet során egy ún. **hatástényezőt** határoz meg. A hatástényező tulajdonképpen egy vektor, amely a kiegyensúlyozatlanság erővektora, valamint a mért kitérés és a fázis közötti összefüggést adja meg. Egész egyszerűen úgy fogalmazhatjuk meg a hatástényezőt, mint a rotor kiegyensúlyozatlanságát okozó erővektor



Ábra 6

és a próbatömeg által keltett erővektor eredőjét. A hatástényező elnevezés abból adódik, hogy az általunk felhelyezett próbatömeg hatást fejt ki a kiegyensúlyozatlan rotor erőegyensúlyára. Ez a hatás játszik szerepet a rezgés amplitúdó nagyságának, illetve a kiegyensúlyozatlanság fázisszögének megváltozásában. Mielőtt a mérés részletes leírására rátérnénk, tisztáznunk kell néhány alapfogalmat, amelyek a **MICROLOG**-gal történő kiegyensúlyozás fogalomkörébe tartoznak.

Amint azt már említettük a kiegyensúlyozatlanság a forgórész tömegelrendezésének hibája. Ennek megfelelően a rotor testben könnyű és nehéz helyeket különböztetünk meg.

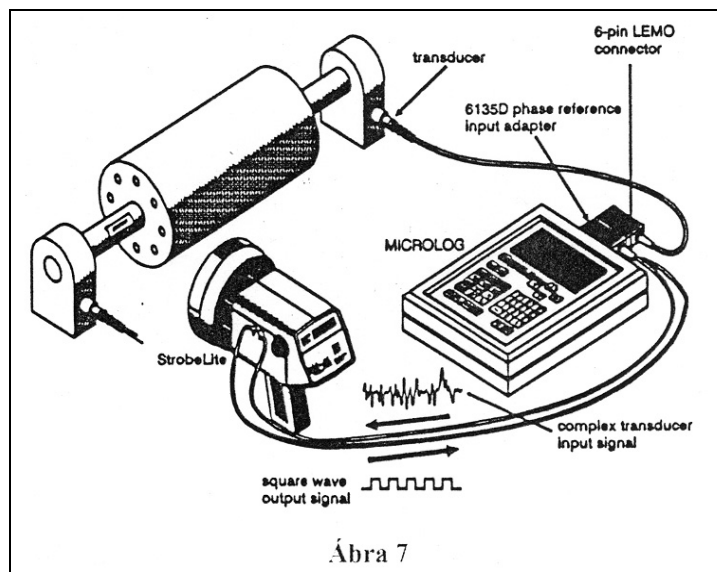
A nehéz hely: - a kiegyensúlyozatlanság (plusz tömeg) valódi pozíciója a rotoron. Ezt a nehéz helyet kell meghatározni az egyensúlyozó módszerek valamelyikének segítségével. Ezesetben a kiegyensúlyozás nem más, mint tömegek hozzáadása, vagy elvétele abból a célból, hogy az egyenlőtlen tömegeloszlásból származó centrifugális erőket ki tudjuk egyenlíteni.

A könnyű hely: - az előzőeknek megfelelően éppen a nehéz hellyel szemben található, erre a pontra célszerű elhelyezni a kiegyensúlyozó tömegeket.

A **MICROLOG** a mérés során (aszerint, hogy a rendszer milyen választ ad a környezetnek) meghatároz még egy ún. **magas helyet** is. A magas hely a rotor válasza a kiegyenlített tömegekre. Ezt a választ mérhetjük a rezgésmérés során. Ez az a pozíció, amely az excentrikus tengelymozgásból származó centrifugális erők hatására létrejövő legmagasabb rezgésamplitúdót szolgáltatja.

Logikusnak tűnik az a megállapítás, hogy mivel ezt a hatást a nehéz hely váltja ki, felesleges megkülönböztetnünk őket, a kettő egy és ugyanaz. Ez a megállapítás azonban csak a kritikus fordulatszám alatt igaz. A kritikus fordulatszám alatt a magas hely és a nehéz hely valóban fázisban vannak, de ennél nagyobb fordulatszámon a magas hely ellenfázisba kerül a nehéz helyhez képest. A legnagyobb amplitúdót tehát nem tömegfelesleg pozíciójában mérjük, hanem ehhez képest éppen az ellentétes oldalon.

A kiegyensúlyozás alapvető célja, hogy a magas hely által szolgáltatott rezgésamplitúdót csökkentsük. A kiegyenlítő súlyok felhelyezésénél tehát arra kell törekednünk, hogy a kritikus fordulatszám alatt a kiegyenlítő tömeget a magas helyhez képest 180° -ra, míg a kritikus fordulatszám felett a magas hely pozíciójában rögzítsük. Tömegelvételeknél ez a két beavatkozás természetesen ellentétes.



2.1 A fázismérés megvalósítási lehetőségei

A fázismérés lényegében a nehéz hely rotoron való elhelyezkedésének megállapítása. A rotor fordulatszámának pontos ismeretében az analízátor meghatározza azt a szögértéket, amely a legmagasabb rezgésamplitúdót szolgáltatja egy körülforduláson belül. Ez természetesen csak úgy lehetséges, ha a mérés indulásának pillanatát, illetve helyeit mi is ismerjük, hogy ezután ebbe a helyzetbe visszaállítva, és a műszer által kijelzett szögértéket

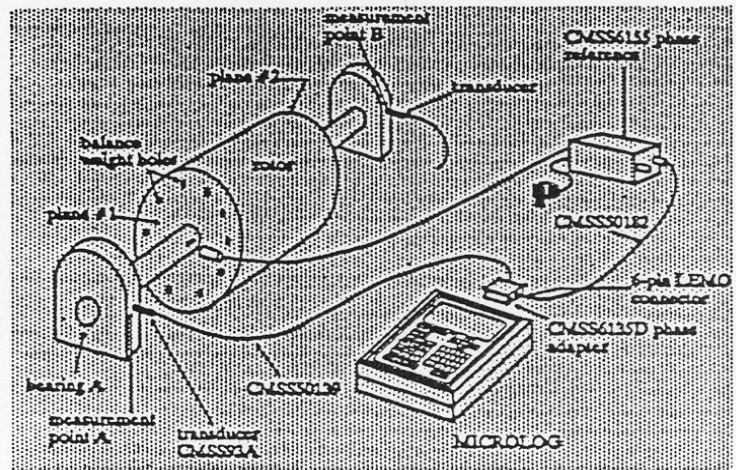
lemérve mi is meg tudjuk állapítani a legnagyobb amplitúdó pontos helyét. Ez a következő eszközök segítségével lehetséges.

Fázismérés stroboszkóppal

Az SKF CMSS 6165 típusszámú stroboszkópja a fordulatszám mérésen kívül fázisszög mérésére is alkalmas. A fázisszög mérésekor a 7. ábrának megfelelően egy bemeneti adapter segítségével tudjuk a **MICROLOG**-hoz csatlakoztatni. Ez az adapter teszi lehetővé azt, hogy a gyorsulásérzékelő és a stroboszkóp segítségével együtt tudjuk mérni a fázisszöget és a hozzá tartozó rezgésamplitúdót. A mérés során ki kell választanunk valamilyen jellemző rotorpontot, amely később a nehéz hely (magas hely) megállapításánál segítségünkre lehet. Ez lehet reteszhorony, csavar, vagy egy általunk felragasztott jelzés. A mérés után ezt a jelet abba a helyzetbe kell állítanunk, amelyben a stroboszkóp villogó fényében volt. A rotor látszólagos álló helyzete jelzi a mérés indítását. Ha az általunk választott jel nincs megfelelő helyzetben, akkor a stroboszkóp kezelőgombjai segítségével $\pm 90^\circ$ -kal el tudjuk mozdítani.

Fázismérés optikai fázis-referencia mérővel

Ezt a fázismérő eszközt is a CMSS 6165D adapterrel csatlakoztatjuk a **MICROLOG**-hoz, a 8. ábrának megfelelően. Magát a fázis érzékelőt egy mágnestalp segítségével rögzítjük a mérendő géphez. A fázismérő tartozéka egy fényvisszaverő szalag, amelyet a rotor felületére ragasztva rögzítjük a mérést indító 0° -os helyzetet. Ezt a helyzetet kell visszaállítani akkor, amikor a nehéz helyet, illetve a kiegyensúlyozó tömeg helyét meg akarjuk állapítani.



Ábra 8

2.2 A kiegyensúlyozás végrehajtása

Kiegyensúlyozás, illetve a referenciarfutás mérésének megkezdése előtt, meg kell adni a rotor néhány jellemzőjét (a rotor fordulatszáma, tömege, kiegyensúlyozás sugara) a **MICROLOG** számára. A kiegyensúlyozási folyamat a következő lépésekből tevődik össze:

I. Referencia futás:

- amelynek során a forgórész hibás állapotát, azaz a nehéz hely pozícióját és a kezdeti rezgés amplitúdót tudjuk meghatározni. A **MICROLOG** által megadott szögérték a rezgésérzékelő helyzetétől a forgásiránnyal ellentétes irányban értelmezendő. (Természetesen a referencia jelet a 0° -os helyzetbe vissza kell állítani.)

II. A próbatömeg becslése:

- melynek során azt számítja ki az analizátor, hogy mekkora legyen a próbafutáshoz a rotorra helyezendő próbatömeg. Ennek akkorának kell lennie, hogy hatással legyen a forgórészre, de még ne okozzon túl nagy rezgéseket.

III. A próbasúly megadása :

- melynek során bebillentyűzzük az általunk felhelyezett próbatömeg nagyságát és helyét a felszerelésnek megfelelően. Így tudjuk közölni az analizátorral, hogy milyen mértékben és hol módosítottuk a kiegyensúlyozatlan forgórész eredeti tömegeloszlását.

IV. Próba futás :

- melynek során a gépet ismét felpörgetjük az üzemi fordulatszámra és a referencia futásnál elmondottakkal megegyezően megmérjük a próbatömeg hatására kialakult rezgésértéket. Az eredmény a magas pont új helyzetét és amplitúdóját fogja mutatni, ezek az értékek a referencia futáshoz képest a próbatömeg hatására változtak meg. E mérés alapján számítja ki az analizátor az ún. *hatástényezőt*, illetve a tökéletes kiegyensúlyozáshoz szükséges korrekciós tömeg értékét és helyzetét. A tökéletes kiegyensúlyozáshoz szükséges korrekciós tömeg és szögértékek a műszer folyadékkristályos kijelzőjén jelennek meg.

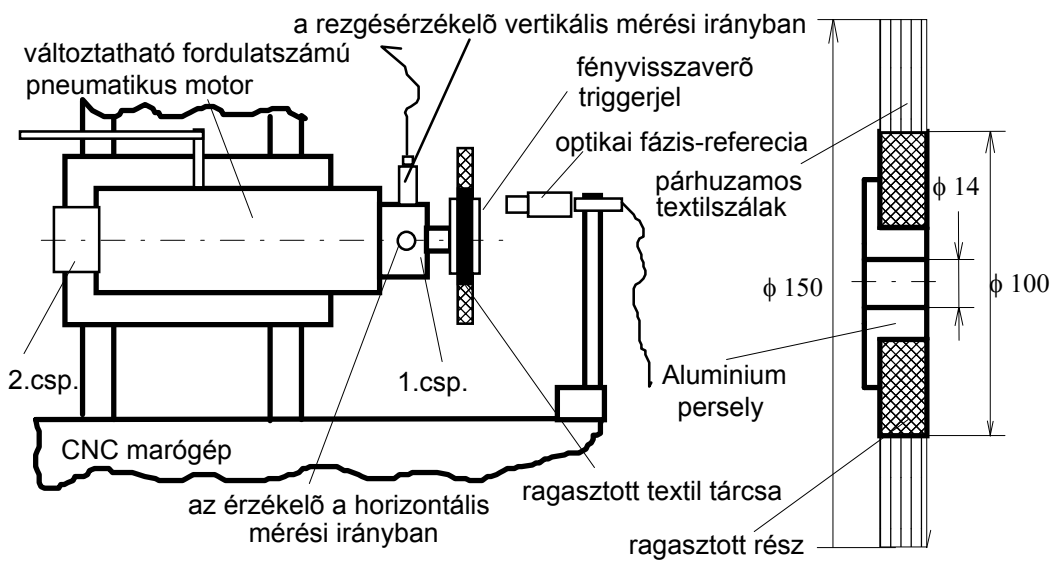
V. Beállító futás :

- a korrekciós tömeg felszerelése után a beállító futás mérését kell elvégeznünk. Ez tulajdonképpen már csak a kiegyensúlyozás ellenőrzése, ha a kiszámított nagyságú próbatömeget a megfelelő helyre helyezzük fel, akkor akár 90 %-os kiegyensúlyozási hatásfokot is elérhetünk.

3. Magas fordulatszámú textil-tárcsa kiegyensúlyozása egy síkban

3.1 Mérési körülmények, a mérések végrehajtása

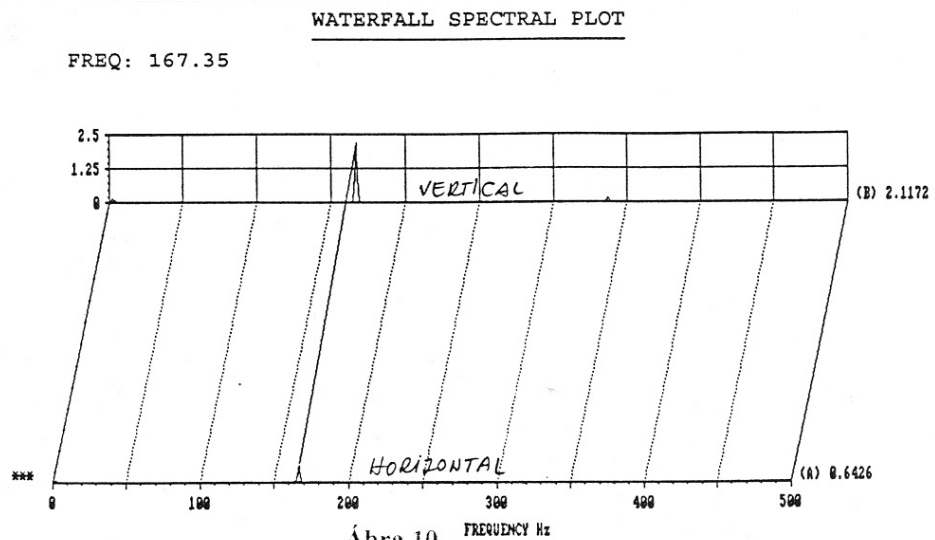
A 9. ábra egy CNC marógépre szerelt változtatható fordulatszámú pneumatikus motorral meghajtott, ragasztott textil tárcsa mérési összeállítását mutatja be. A tárcsát a Budapesti Műszaki Egyetem egyik tanszékén folyó kutatási témában alkalmazzák forgácsoló szerszámok keménységének növelése érdekében. A nagy fordulatszámú tárcsa kerületére juttatott finom gyémántpor olyan nagy kinetikus energiára képes szert tenni, hogy a szerszám felületébe diffundálva összefüggő kemény réteget alkot. A felszört réteg kopásálló, jelentősen megnő a szerszám élettartama. Bár a textiltárcsák gyártási technológiája precízen ki volt dolgozva, a ragasztó inhomogenitása, a nem tökéletesen pontos köralak, illetve a textil lapok forgás közbeni alakváltozása mégis a tárcsa kiegyensúlyozatlanságához vezetett. Ez abban nyilvánult meg, hogy már viszonylag alacsony (kb. 5000 1/min) fordulatszámon kézzel is lehetett érezni az egész CNC marógép remegését, műszeres mérésekkel pedig 10.000 1/min fordulaton minden mérési irányban 10 - 15 mm/sec RMS rezgéssebesség értékek voltak mérhetőek. Ezek után a tárcsát egy esztergákés segítségével "leborotválták" biztosítva ezzel a megfelelő köralakúságot, amely a rezgéssebesség szintet a 10. ábrán látható 2 mm/s körüli értékre csökkentette a kiegyensúlyozatlanságra utaló amplitúdót a 10.000-es fordulatszámon. Mivel a tárcsa üzemi fordulatszáma ennél jóval magasabb és megrendelő kérése az volt, hogy a tárcsa a lehető legfinomabban egyensúlyozzuk ki. Ez azt jelentette, hogy az ISO 2371 szabvány szerinti ajánlások alapján a rezgéssebesség effektív értéke 20.000 1/min fordulatszámon sem haladhatja meg a 0.4 mm/s RMS értéket. Az $e_{\text{meg}} = v_{s \text{ meg}} / \omega$ képlet alapján $e_{\text{meg}} = 19 \mu\text{m}$ fajlagos megengedhető súlyponteltérés számítható.



Ábra 9

A mérés során problémát jelentett, hogy a 20.000-es fordulatszámon a magas rezgések, és a forgás közben alakját változtató tárcsa által keltett aerodinamikai hatások miatt a fényvisszaverő triggerjel lerepült a tárcsa oldalfelületéről, ami megakadályozta a kiegyensúlyozást ezen az üzemi fordulatszámon. Így a kiegyensúlyozást a mérés szempontjából kedvezőbb 10.000 1/min fordulatszámon végeztem el, természetesen figyelembe véve a megengedhető fajlagos súlyponteltérés értékét (a fordulatszám négyzetével arányosan növekvő rezgésamplitúdót), amely ezen a fordulatszámon maximálisan 0.1 mm/s rezgésebbesség értéket enged meg.

További problémát jelentett a próba és korrekciós tömeg tárcsán való rögzítésének kérdése, hiszen ezen a fordulatszámon a nehézségi erő több ezerszerese hat minden gramm felhelyezett tömegre, amely a textilszálakat elszakíthatja. Könnyen elképzelhető az is, hogy ilyen magas fordulaton már tizedgrammok is jelentős amplitúdóváltozást okozhatnak.



Ábra 10

A probléma megoldására két lehetőség látszott kivitelezhetőnek. A festék és a ragasztó. A festék lassan szárad (növelve ezzel a kiegyensúlyozáshoz szükséges időt), vastagabb

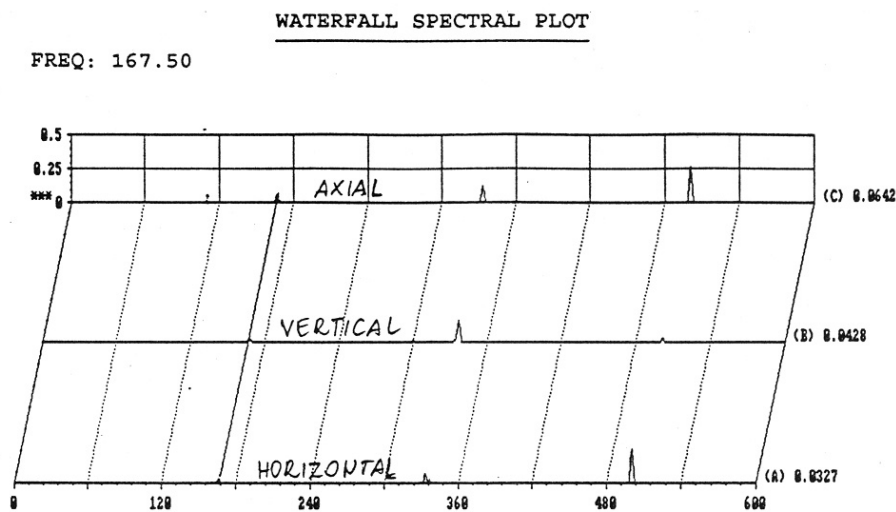
rétegben lepattogzik, nem köt tökéletesen a ragasztott maghoz ezért megbízómmal közösen amellet a ragasztótípus mellett döntöttünk, amely a ragasztott mag alapanyaga volt. Sajnos ez a ragasztótípus sem száradt meg olyan gyorsan mint szeretttük volna, ezért a gyártó LOCTITE tanácsára aktivátort alkalmaztunk, amely megakadályozta a ragasztó szétkenődését, így pontosabbá és kiszámíthatóbbá tette az egyensúlyozási műveletet. A ragasztót igyekeztünk minél pontszerűbb formában elhelyezni a tárcsában, ezért mind az aktivátort, mind a ragasztót injekciós tűvel fecskendeztük a textillapok közé. A MICROLOG által kiszámított próbatömeget 0.01 gramm pontosságú mérlegen mértük le és a továbbiakban ehhez viszonyítva jutattuk be a megfelelő mennyiségű ragasztót.

3.2 A mérési eredmények összefoglalása

A kiegyensúlyozás előtt és után mindkét csapágyon természetesen rezgésspektrumokat is rögzítettem a pontos diagnózis és a későbbi összehasonlítás érdekében. A spektrumok jellege, illetve az amplitúdó és fázisszög mérési eredmények egyértelműen statikus kiegyensúlyozatlanságra utaltak. A mérésekből, lásd 10. ábra az is kimutatható volt, hogy a CNC marógép felépítéséből következően a pneumatikus motort és tárcsát tartó konzol merevsége függőleges irányban kisebb, mivel ebben a mérési irányban volt a legmagasabb rezgésamplitúdó a kiegyensúlyozás végrehajtásához választott 10.000 1/min (167.67 Hz) forgási frekvencián. A rezgésérzékelőt tehát (az általános esetektől eltérően) vertikálisan helyeztem el, a fázisszög és pillanatnyi fordulatszám mérésére szolgáló fényvisszaverő síkot és optikai fázisszög mérőt axiálisan a 9. ábrának megfelelő módon állítottam be.

A MICROLOG Kiegyensúlyozó algoritmusának segítségével meghatároztam a szükséges próbatömeg nagyságát, majd ezt a 0.04 gr -nak megfelelő mennyiségű ragasztót a tárcsába fecskendezve, a pneumatikus motor fordulatszámát újra 10.000-re emelve, a műszer kiszámította a hatástényezőt, valamint a korrekciós tömeg helyzetét és nagyságát.

A kiegyensúlyozás alatt a műszer úgy volt programozva, hogy a próba és korrekciós tömegek végleg fennmaradnak a tárcsán, így mivel óvatosságból inkább kevesebb ragasztót fecskendeztünk be még további három finomító indítást végeztünk, amíg a szinte teljesen tökéletes kiegyensúlyozottsági állapotot el nem értem. A szoftver által megadott tömeg és szöghelyzeteket figyelembe véve végül is fokozatosan jutottam el a kívánt eredményhez, mindig az ajánlottnál kissé kevesebb tömeget felragasztva.



Ábra 11

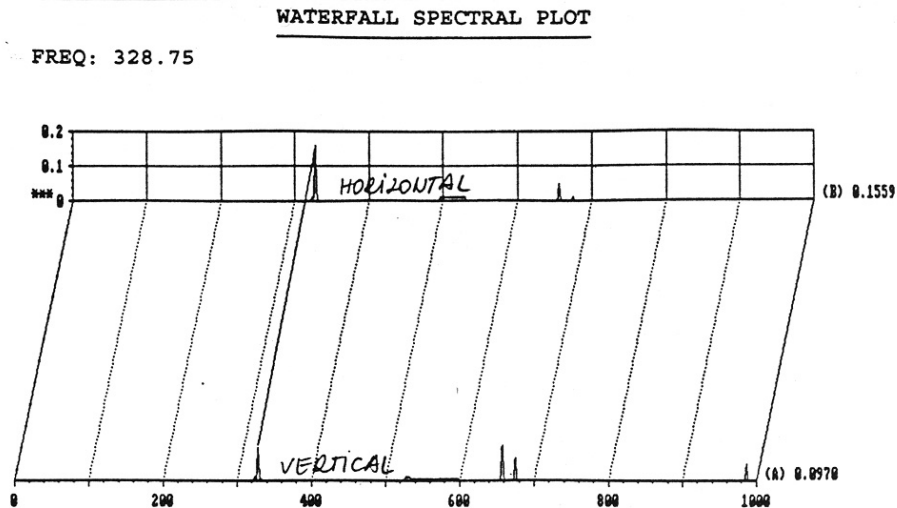
A 11. ábrán látható kiegyensúlyozás után készített rezgésspektrumok, melyek a kiegyensúlyozás 10.000-es fordulatszámán készültek önmagukért beszélnek. Látható, hogy a 167.5 Hz-es forgási frekvencián az eredetileg 2.117 mm/s nagyságú amplitúdó 0.0428 mm/s-ra csökkent, amely 97,9 %-os kiegyensúlyozási hatásfoknak felel meg. Ezt mutatja a 12. ábrán látható MICROLOG által nyomtatott kiegyensúlyozási jelentés is, amely a kezdeti (Reference Run) és kiegyensúlyozás utáni (Trim Run) amplitúdó és fázisszög értékek mellett megmutatja felhelyezett próbatömeg nagyságát és helyét (Trial Weight), a hatástényezőt (Influence Coefficient), valamint a kezdeti szükséges (Initial Correction Weight), illetve a legvégül maradó (Trim Weight) korrekciós tömeg értékét. Ez a legutóbbi érték, amely arra utal, hogy mekkora tömeg lenne még szükséges ahhoz, hogy a forgástengelyt és a tehetetlenségi "fedésbe hozzuk" láthatóan mindössze 0.006 gr, amely a munka precizitására utal.

| Balance Report | | | |
|-------------------|-----------------------|-------|------------------------------|
| ID: | BME TARCSA 1 | | WEIGHTS LEFT IN FOREVER: YES |
| | <u>Trial Weights</u> | | <u>Runout</u> |
| Weight: | 0.0399 | GRMS | Mag : 0 RPM |
| Angle : | 19.0 | DEG | Phase : 0 DEG |
| Data | | | |
| | <u>Reference Run</u> | | <u>Trial Run #1</u> |
| Speed : | 166.9483 | Hz | Speed : 166.7295 Hz |
| Mag : | 2.0711 | RPM/S | Mag : 1.9586 RPM/S |
| Phase : | 19.1 | DEG | Phase : 9.0 DEG |
| | <u>Trim Run</u> | | <u>Influ Coefficient</u> |
| Speed : | 167.8518 | Hz | Mag : 9.2988 GRMS/RPM/S |
| Mag : | 0.0589 | RPM/S | Angle : 247.5474 DEG |
| Phase : | 260.2999 | DEG | |
| Correction Weight | | | |
| | <u>Initial Weight</u> | | <u>Trim Weight</u> |
| Weight: | 0.2106 | GRMS | Weight: 0.0063 GRMS |
| Angle : | 301.4525 | DEG | Angle : 192.7525 DEG |

Ábra 12

A kiegyensúlyozás befejezése után természetesen ellenőrző méréseket végeztem horizontális és vertikális irányban a várható 20.000 1/ min (328,75 Hz) üzemi fordulatszám on is, melyet a 13. ábra szemléltet. Látható, a 10.000 1/min fordulatszám on megfelelően végrehajtott kiegyensúlyozás eredményeképpen az 1x-es forgási frekvencia amplitúdók 20.000 1/min fordulatszám on sem lépték túl a megrendelő által elvárt és az ISO 2371 szabványban rögzített 0.4 mm/s megengedhető értéket.

Összefoglalásként elmondható, hogy a berendezések kiegyensúlyozatlansága miatt létrejött veszélyes rezgésjelenségek kimutathatók, diagnosztizálhatók és korszerű diagnosztikai mérőeszközök, valamint hozzáértő szakember segítségével könnyen és gyorsan megszüntethetők.



Felhasznált irodalom :

- [1] Dr.Kégl T. - Szabó J. : A rezgésméréssel történő kiegyensúlyozás korszerű eszközei
Gépgyártástechnológia V-VI., 1994, Budapest, Hungary
- [2] Microlog, Prism2 User Manual
SKF Condition Monitoring Inc., San Diego, USA
- [3] Dr. Kégl T. - Szabó J.Z: Műszaki diagnosztika
Főiskolai jegyzet Bánki Donát Műszaki Főiskola, 1993, Budapest
- [4] A. Lingener : Auswuchten - Theorie und Praxis
Verlag Technik 1992
- [5] Rezgésdiagnosztika haladóknak II.
Rezgésdiagnosztika tankönyv SKF Hungary 1992

**Rezgésdiagnosztika felső fokon. Forduljon hozzánk bizalommal.
Szakszerű, gyors, rugalmas munkavégzés, korrekt árak,
világszínvonalú műszerek!**

Szakértői tevékenységünk, szolgáltatásaink az alábbi főbb területekre terjednek ki:

Forgó gépek állapot vizsgálatai:

- diagnosztikai mérőpontok kiépítése, forgógépek időszakos (heti, havi, negyedéves) állapotfigyelése
- gördülőcsapágyak rezgésdiagnosztikai állapotfelvétele, csapágyak, hajtóművek kenési elégtelenségének, tönkremenetelének kimutatása
- gépalapok, csővezetékek, rezonanciáinak, fellazulásának kimutatása
- mérések teljes terhelés mellett használható gyakorlati tanácsok a gép megbontása nélkül

- állandó gépfelügyelet, fixen telepített érzékelők „rezgés örök” beépítése a stratégiaileg fontos berendezésekbe

Rezgéscsökkentés:

- forgórészek helyszíni statikus és dinamikus kiegyensúlyozása
- géptengelyek egytengelyűségi hibáinak kimutatása, tengely-beállítás, pályaegyenesség mérés (10 m-ig) lézeres tengely-beállító készülékkel

A szerző az oktatás mellett 10 éve a gyakorlatban is hatékonyan alkalmazza a bemutatott diagnosztikai módszert. Kapcsolat felvétel :

Mc. Method Bt.

Szabó József Zoltán okl. gépészmérnök, rezgésdiagnosztikai szakértő, ügyvezető
2096 Üröm Huszár utca 28. Tel.: 06-30-933-7479, E-mail.: szabo.jozsef@bgk.bmf.hu