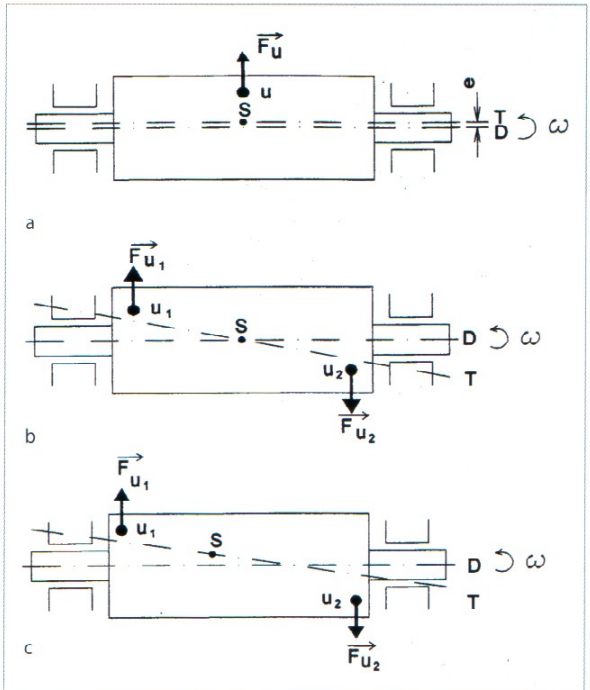
Tűzoltás és nagyjavítás helyett

Állapotfüggő karbantartás rezgésdiagnosztikával (XXV.)

Nem elegendő a gépek problémáit a legkülönbözőbb diagnosztikai módszerekkel felderíteni, tenni is kell azok megszüntetése érdekében, máshogyan aligha lesz fenntartható a termelés folytonossága.

Számos gépihiba elhárítása – akár igen komoly – szereléssel is járhat, azonban két, méghozzá a leggyakrabban előforduló hibafajta viszonylag egyszerűen megoldható: a forgórész dinamikus kiegyensúlyozása, valamint – kuplungos gépeken – a tengelyvonal beállítása. Mindkét beavatkozás – amelyek ráadásul semmilyen járulékos anyagot vagy szerszámot nem igényelnek – miclőbbi kivitelezése igencsak ajánlatos: a csapágyak túlterhelésének megszüntetése révén azok élettartama meghosszabbítható, nem válik szükségessé az idő előtti cseréjük.



1 A kiegyensúlyozatlan alapesetei: statikus (a), ellentétes (b) és dinamikus (c)

Dinamikus kiegyensúlyozás

A forgógépek világában a legtöbbször előforduló hiba a kiegyensúlyozatlanság. Megjegyzendő, hogy az egyensúlyhiba mindig jelen van, legfeljebb mértéke nem éri el azt a határt, hogy hibának tekintsük. Tökéletesen – „nullára" – kiegyensúlyozott forgórész nincs, csak olyan, amely teljesíti az elvárásainkat, illetve a vonatkozó szabványok előírásait.

Egyensúlyhibáról akkor beszélünk, ha az adott forgórész súlyvonala nem esik egybe a forgástengelyével. Attól függően, hogy e tengelyek hogyan viszonyulnak egymáshoz, a kiegyensúlyozatlanság következő típusait különböztetjük meg: statikus egyensúlyozatlanság esetén a forgástengely és a súlyvonal egymással párhuzamos 1A páros, ellentétes vagy nyomatékegyensúlyozatlanságról akkor beszélünk, ha a forgástengely és a súlyvonal egymással szöget zár be, de metszik egymást 1B dinamikus egyensúlyozatlanság esetén a forgástengely és a súlyvonal kitérő 1C.

Centrifugális erőhatás

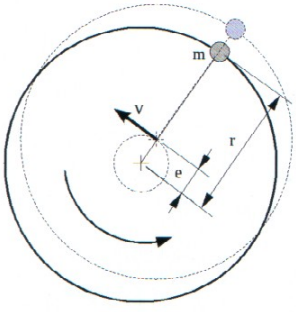
Amiatt, hogy a súlyközéppont (illetve súlyközépvonal) és a forgásközéppont (illetve forgástengely) nem esik egybe, centrifugális erőhatás lép fel 2. E hatás terheli a forgórész alátámasztását: a csapágyakat és tartószerkezetüket. A fellépő centrifugális erő természetesen ugyanazzal a frekvenciával forog a forgástengely körül, mint maga a tengely. Az egyensúlyozatlanság hatására jelentkező centrifugális erő a következő egyenlet alapján számítható ki:

$$F=m\times r\times\omega^2$$

ahol F a centrifugális erő, m a kiegyenlítetlen tömeg, r a kiegyenlítetlen tömeg távolsága a forgás középpontjától, ω pedig a szögsebesség (körfrekvencia). Az egyenletből adódóan a centrifugális erőhatás négyzetesen függ a fordulatszámtól, tehát magasabb fordulatszámú gépek esetén a kiegyensúlyozatlanság megszüntetése fokozottan fontos.

A centrifugális erő körmozgást végez, így a csapágyaknak, illetve a tartószerkezetnek egy kitüntetett pontjára ható erő nem állandó, hanem szinuszos pulzálást mutat: egy fordulat alatt egyszer eléri előbb a maximumát, majd a minimumértékét. Egyenlete:

$$F(t)=m\times r\times\omega^2\times\sin(\omega\times t)$$



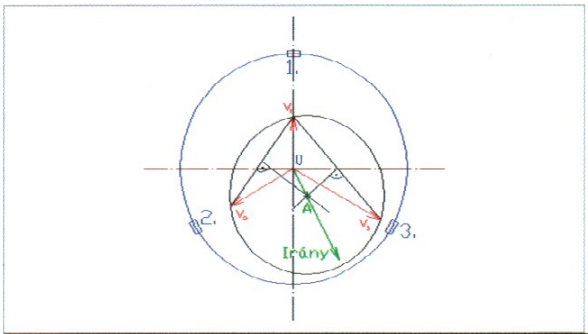
Kiegyensúlyozatlanság elmélete 2

A csapágyaknak és a tartószerkezetnek ezzel az erővel azonos nagyságú ellenerőt kell kifejteniük ahhoz, hogy helyben tartsák a forgórészt. Az eközben keletkező mozgás – a csapágyházakon mérhető rezgőmozgás – a tartószerkezet merevségétől is függ. A támaszokon, csapágyházakon (továbbiakban csapágyakon) mért rezgés tehát – kizárólag egyensúlyhiba esetén – arányos a fellépő centrifugális erővel. E felismerés alapján tudjuk meghatározni a kiegyensúlyozatlanság mértékét, illetve el tudjuk végezni az egyensúlyozást. Ezt végrehajthatjuk egyensúlyozó padon vagy a helyszínen, a gép saját csapágyazásán. Jelen cikkünkben a padi egyensúlyozásra nem térünk ki. A helyszíni egyensúlyozást – műszerezettségtől függően – végezhetjük az úgynevezett három pont módszerrel vagy az amplitúdó-fázis mérésen alapuló vektoros eljárással.

Három pont módszer

E módszerrel tárcsa alakú forgórészek egyensúlyozatlanságát lehet megszüntetni, és ez az eljárás az egyensúlyozás legegyszerűbb módja: csupán kézi rezgésmérőt igényel. Öt-hat indítással kielégítő eredményt ad. Az egyensúlyozás lépései:

1) A gépet beindítjuk és a forgórész üzemi fordulatszámán megmérjük a csapágy sugárirányú rezgésének sebességét (v_0).
2) Meghatározzuk a szükséges próbasúly nagyságát (P), majd tetszőleges helyre felerősítjük.
3) A gépet elindítjuk és megmérjük a rezgéssebességet (v_1).
4) A próbasúlyt áthelyezzük az előző helytől 120°-ra, és így is megmérjük a csapágy rezgését (v_2).
5) A próbasúlyt ismét áthelyezzük 120°-kal és a csapágy rezgését újból megmérjük (v_3).
6) A mért v_1, v_2, v_3 értékeket felrajzoljuk egy 120°-os koordinátarendszer három, a forgórész számozásával azonos forgási értelemben, alkalmasan választott mértékarányban **3**.
7) Megszerkesztjük a vektorok végpontjain átmenő kör középpontját (A). Az origó és az A pontokat összekötve megkapjuk a kiegyensúlyozatlanság irányát. Ezt az irányt a forgórészen megjelöljük.
8) A kiegyensúlyozatlanság irányával 180°-kal ellentétesen ismét felhelyezzük a próbasúlyt, majd rezgésmérést végzünk (v_4).
9) A mért adatokból a kiegyensúlyozatlanság nagysága, illetve a kiegyensúlyozáshoz szükséges tömeg a következő összefüggéssel számítható ki:



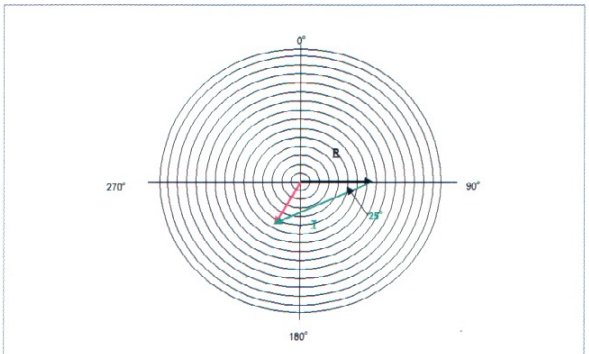
Egyensúlyozás három pont módszerével **3**

Az eljárás sikerének feltétele, hogy a számításban szereplő rezgések döntő részben egyensúlyozatlanságból származzanak. Ennek eldöntésére azonban a kézi rezgésmérő nem alkalmas, mivel nem a forgási frekvenciájú rezgésösszetevőt, hanem a szélessávú szintet méri. Ezért az egyensúlyozás végrehajtásához lehetőleg frekvenciaelemző műszert kell használni. Az eljárás legfőbb hátránya, hogy igen sok, az ellenőrzéssel együtt legalább hat indítás szükséges az egyensúlyozás elvégzéséhez. Ez a nagy számú indítás sokszor a gép sajátossága miatt nem engedhető meg, illetve előfordul, hogy rendkívül hosszú időt vesz igénybe.

Vektoros (próbasúlyalapú) módszer

Az eljárás alapja az egyensúlyozandó forgórész csapágyain sugárirányban mért rezgésvektor, azaz a forgási frekvenciájú rezgésamplitúdó, valamint annak fázisa. A fázisszög leírja, hogy a kiegyenlítetlen súly – a forgórészen definiált ponthoz (referenciajelöléshez) képest – milyen szöghelyzetben van. E szöghelyzet függ a gép rugalmasságától és időállandójától (tehát mechanikai rendszerként őt jellemző tulajdonságaitól), valamint a használt mérőrendszer fázismérési paramétereitől (mérési elv, integrálás vagy kétszeres integrálás alkalmazása, jelfeldolgozási késleltetés stb.). Mindezen tényezők egy adott gépre és mérőrendszerre állandók, de gépenként és műszerenként jelentősen eltérhetnek egymástól. Egy új egyensúlyozás kezdetekor nem tudhatjuk, hogy hol van a kiegyensúlyozatlanságot okozó plusztömeg. Kénytelenek vagyunk tehát egy ismert nagyságú, ismert szöghelyzetre és rádiuszra felhelyezett tömeggel a rendszerben változást létrehozni, és így a gép egyensúlyozatlanságra történő reakcióját és érzékenységét megállapítani.

Példaként egy egysíkú egyensúlyozást mutatunk be 4: a beavatkozás után mért rezgésvektor (piros) az eredeti R rezgésvektornak (fekete) és a próbatömeg T hatásvektorának (zöld) összege. Az eredeti vektor és a hatásvektor arányából meghatározható az eredeti egyensúlyozatlanság nagysága, azaz a szükséges korrekciós tömeg: Az eredeti és a hatásvektor által bezárt szög pedig megmutatja, hogy a próbasúlyhoz képest hány fokra kell tenni a korrekciós tömeget. Példánkban a próbasúlyt a mérést követően el kell távolítani (ha rajta akarjuk hagyni, akkor az egyenletben az R vektor helyett figyelembe kell vennünk az R+T vektort).



4 Egysíkú egyensúlyozás példája

Egysíkú egyensúlyozás példája

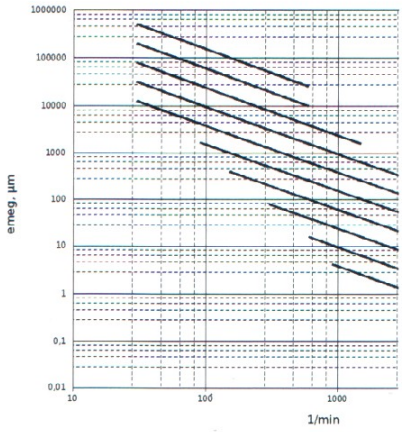
A fentiekben az egyszerűség és a könnyű érthetőség kedvéért az egysíkú egyensúlyozás menetét ismertettük. E módszer a tárcsa alakú forgórészek egyensúlyozásakor nyújt kielégítő eredményt. A bonyolultabb vagy „hosszú" forgórészek esetén két- vagy többsíkú egyensúlyozás elvégzése szükséges.

A gép kiegyensúlyozatlanságra történő reakciója és érzékenysége leírható például az úgynevezett válaszmátrix segítségével. Minden egyes egyensúlyozási síkra vonatkozóan ez a mátrix tartalmazza a gépen levő kiegyenlítetlen súly saját magára és a többi síkra gyakorolt hatását. Kétsíkú kiegyensúlyozás esetén a válaszmátrix a következőképpen nézhet ki:

a11= 0,0948653 mm/s
b11= 169,8548317°
a21= 0,0624921 mm/s
b21= 190,5289268°
a22= 0,1141621 mm/s
b22= 346,5672016°
a12= 0,991200 mm/s
b12= 282,560746°

A válaszmátrix értelmezése

Az egyszerűség érdekében most abból indulunk ki, hogy a gépünk kiegyensúlyozott állapotban van. Ha 1 egységnyi súlyt szerelünk fel 1 egységnyi rádiuszon, 0 fokos szöghelyen az első kiegyensúlyozási síkra, akkor az 1-es síkhoz tartozó mérőponton észlelhető forgásfrekvenciájú rezgés *a11* nagysággal *b11* fázisszög irányába növekszik, a 2-es síkhoz tartozó mérőponton pedig *a21* nagysággal *b21* fázisszög irányába (a kereszthatás miatt). Ha a fenti súlyt ezután áthelyezzük az 1-es síkról a 2-es síkra, akkor az 1-es síkhoz tartozó mérőponton észlelhető forgásfrekvenciájú rezgés *a12* nagysággal *b12* fázisszög irányába növekszik (a kereszthatás miatt), a 2-es síkhoz tartozó mérőponton pedig *a22* nagysággal *b22* fázisszög irányába. Ez gyakorlatilag a forgógép kiegyensúlyozatlanságra vonatkozó érzékenysége, amelynek ismeretében ugyanennek a gépnek újabb kiegyensúlyozásához (ugyanolyan pozícióban és szögben felszerelt érzékelőket és forgásreferenciát feltételezve) próbasúlyos mérésekre nincs többé szükség. Csupán az aktuális rezgés (amplitúdó és fázisszög) mérése alapján máris kiszámítható a szükséges kiegyenlítő súlyok



Megengedett maradék kiegyensúlyozottság a fordulatszám függvényében 5

nagysága és helye. (Az egységnyi súly és rádiusz a válaszmátrix rögzítése során alkalmazott mértékegységtől függ: ha a súlyokat grammban, valamint a rádiuszt mm-ben adtuk meg, akkor a válaszmátrix értelmezésekor egységnyi súly=1 gramm és egységnyi rádiusz=1 mm értékeket veszünk alapul.)

Megengedett maradék kiegyensúlyozatlanság

Mivel a bevezetőben említettek szerint tökéletesen kiegyensúlyozott forgórészek nincsenek, ezért minden esetben találkozunk maradék kiegyensúlyozatlansággal. Az egyes géptípusokra megengedhető maradék kiegyensúlyozatlanság mértékét az ISO 1940 szabvány rögzíti. E szabvány a forgórészek tömegközéppontja eltolódásának kerületi sebessége szerint sorolja osztályokba a gépeket, és a maradék fajlagos kiegyensúlyozatlanságot (a tömegközéppont kitérését a forgástengelyhez képest forgás közben) az e_{meg} értékben határozza meg 5. Például egy G6.3 osztályba sorolt, 1500 1/min fordulatszámú ventilátor esetében: e_{meg}=40,1 µm.

Rahne Eric

HATÉKONYSÁGMUTATÓ			
Anyagfelhasználás	●	Energiaigény	●
Üzemfenntartás	●	Kezelhetőség	○
Időráfordítás	●	Élettartam	●

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