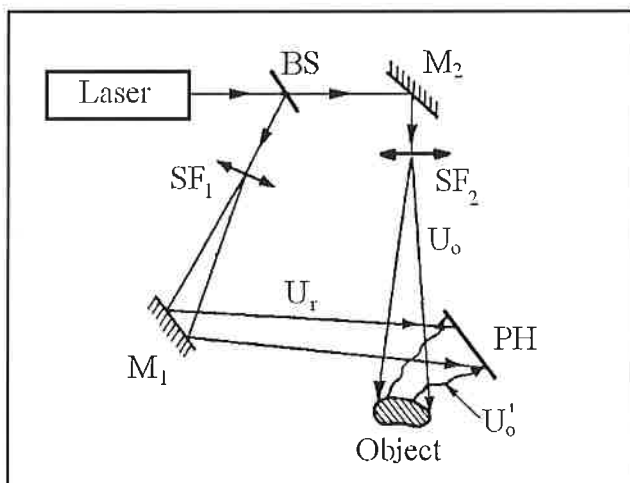


Belső égésű motorok fekvőcsapágyainak roncsolásmentes vizsgálata holografikus interferometria segítségével

Dr. Száva János*

A holografikus interferometria lényege

Az 1949-ben Gábor Dénes által felfedezett holográfia elve, a lézerek mint nagy teljesítményű monokromatikus fényforrások feltalálását követően, teret hódított a mérnöki számítások ellenőrzésében is. Ez a kísérleti módszer (a *holografikus interferometria*, mely a továbbiakban **HI**) a holográfia és az optikai interferometria kombinációjaként jött létre, magában foglalván mindkét módszer előnyeit. Az 1. ábra a módszer elvi problémáit mutatja be. A monokromatikus, viszonylag erős fényforrás, általában egy 15–50 mW teljesítményű He-Ne lézer. Az általa kibocsátott fénynyaláb a **BS** féltükörön részben áthalad, részben pedig visszaverődik róla. Az U_r referencianyaláb, mely az M_1 tükör, valamint az SF_1 nyálábtágító segítségével eljut a **PH** nagy felbontóképességű fényérzékeny lemezre, interferál a vele koherens U_o tárgynyalábbal, amely viszont az M_2 tükör és az SF_2 nyálábtágító segítségével megvilágítja a tárgyat (**Object**) és arról visszaverődve érkezik a **PH** jelű, ún. hololemezre. Az U_o és U_r nyalábok interferenciája létrehozza a tárgy virtuális, térbeli képét, a *hologramot*.



1. ábra

Ha ezt a folyamatot a tárgy két különböző igénybevételének (mechanikai, hő stb.) megfelelő állapotáról készítjük el ugyanarra a hololemezre, akkor a tárgy virtuális képére egy interferencia sávrendszer fog ráhelyeződni. Egy-egy sáv az azonos elmozdulású pontok mértani helyének felel meg, és az egymás melletti sávokhoz tartozó pontok elmozdulástöbblete 18–25 nm, az optikai rendszer jellemzőitől függően. Ez az ún. *kétexponációs HI* elve. Az exponálás után a hololemezt elő kell hívni és minél pontosabban visszahelyezni az eredeti helyére, ahol az U_r referencianyalábbal a felvétel rekonstruálható.

Egy másik lehetőség az ún. *egyexponációs (valós idejű) HI*, mely esetében csak egyetlen felvétel készül a tárgy kezdeti állapotáról, majd a hololemezt előhívjuk és mikrométeres pontossággal visszahelyezzük eredeti helyére. Utána a különböző terheléseknek alávetett tárgyat a hololemezen keresztül figyeljük, illetve fényképekre rögzítjük a megter-

heléseknek megfelelő sávrendszereket. Így ugyanazzal a hololemezzel a tárgynak tetszőleges mennyiségű állapotát tudjuk rögzíteni, illetve állapotának fejlődését követni a terhelés függvényben.

A módszer előnyei és hátrányai a roncsolásmentes anyagvizsgálat szempontjából

Az előzőekből látható, hogy a HI elmozdulásmezőben (mely *felületi elmozdulásmező*) fejezi ki az illető tárgy módosulását. Tehát, a tárgy minden olyan módosulása, mely kihat annak felületi elmozdulásmezőjére, követhető, gyakorlatilag nanométer pontosan, a HI segítségével.

Ilyen szempontból megfontolandó például a *belső inhomogenitás* is, melynek elemzése kihat a felületi elmozdulásmezőre is.

Egy másik, nem elhanyagolható előnye a HI-nak az, hogy a felületi elmozdulásmező kimutatja a tárgyban ébredő *feszültségmezőt*, illetve a *feszültségtorlódásokat*. Mint ismeretes, feszültségtorlódást előidézhet – többek között – *belső inhomogenitás* is. Ez viszont utalhat a tárgyban jelen levő belső, illetve felületi hibákra, kristályszerkezetének módosulására, valamint a tárgy egyes pontjaiban a folyáshatárt meghaladó feszültségek fellépésére is.

Mint ismeretes, a klasszikus roncsolásmentes vizsgálati módszerek nagy része nem képes a feszültségtorlódást kimutatni, bár ez nem éppen elhanyagolható befolyásolja az illető alkatrész élettartamát. Ilyen szempontból érdemes mérlegelni az információ minőségének a különbségét akkor, amikor csak megállapítjuk, hogy az illető alkatrészben, egy adott mélységben, létezik egy bizonyos nagyságú hiba, illetve akkor, amikor ennek a hibának, a feszültségtorlódás függvényében, az élettartamcsökkentő hatását is meg tudjuk állapítani.

Ugyanakkor, a HI alkalmazható *bármilyen típusú anyagra* (fém, fa, kerámia, emberi csontok stb.) *ugyanazzal a felszereléssel (optikai montázs)*, minden módosítás nélkül.

Talán e két utóbbi tény a legmeggyőzőbb érv a HI módszer segéd-eszközként való alkalmazása mellett, mely a roncsolásmentes anyagvizsgálatok eredményeihez további hasznos információkat tud nyújtani.

A HI *hátrányai* közül talán az a legnagyobb, hogy mindent csak a felületi elmozdulásmező függvényében képes kiértékelni. Így nem alkalmas, mint közvetlen módszer, a belső hibák kimutatására. De ha ezeket a belső hibákat más roncsolásmentes módszerrel már felderítették, akkor a HI módszerrel kiértékelhetjük ezeknek a hibáknak a hatását (befolyását) az illető alkatrész élettartamára, valamint teherbíráására.

Elméleti megfontolások a belső égésű motorokra

A belső égésű motorok főtengelelinek szilárdságtani, illetve rezgéstani méretezése/ellenőrzésekor első közelítésben merev alátámasztási pontokat tételezünk fel. Egy kissé pontosabb számítás viszont figyelembe veszi a fekvőcsapágyak véges merevségét is, amellyel a tényleges igénybevételi viszonyokat jobban megközelítő eredményt kapunk, azaz a terhelés lényegesen módosult értékeit, valamint a kisebb saját körfrekvencia értékeket. Ez utóbbi a valóságban azt eredményezheti, hogy a motor a berezgést okozó, vagy ahhoz közeli frekvencia-tartományban

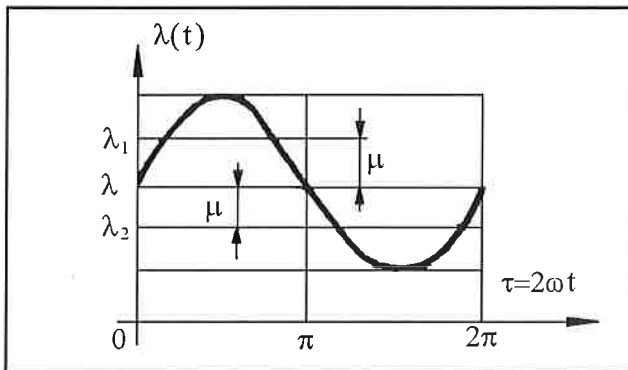
* egyetemi tanár, Brassói Transzilvánia Egyetem, Szilárdságtan Tanszék, Románia, e-mail: janos@deuroconsult.ro

fog működni, és így nemcsak az üzemvitele romlik, de az élettartama is csökken.

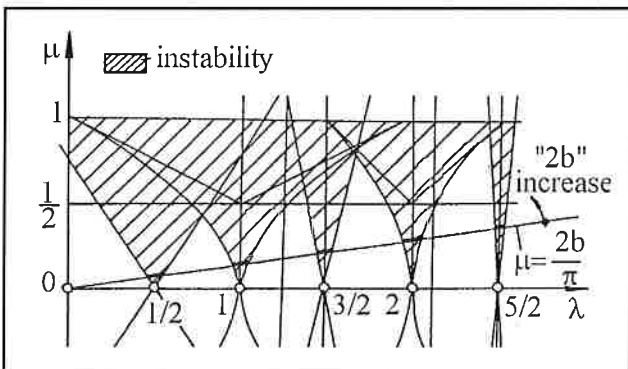
Egy igényesebb számítás már azt a tényt is figyelembe veszi, hogy a fekvőcsapágy tartományának (csapágy és rögzítőcsavarok) véges a rugómerevsége, és ez kvaziperiodikusan változik a függőleges irányval bezárt szög függvényében. Így az ún. Hill-Mathieu-féle paraméteres rezgések keletkeznek, melyek jellemzésére a saját körfrekvenciát a következő összefüggés írja le:

$$p^2(t) = p_0^2 \cdot (1 + 2 \cdot b \cdot \sin \omega \cdot t), \quad 2 \cdot b < 1$$

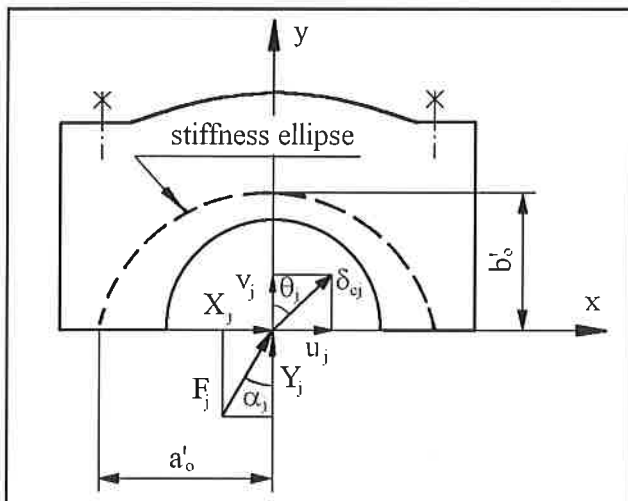
Itt $p(t)$ a saját körfrekvencia és p_0 ennek amplitúdója, b egy segédparaméter, mellyel a saját körfrekvenciát mint két állandónak tekintett $\lambda = p_0/\omega$ érték között változó függvényt írjuk le, míg ω a főtengeles szögsebessége (2. ábra). A rendszer stabil, illetve instabil zónái a 3. ábra alapján észlelhetők, ahol a $\lambda = 0,5 \dots 1,0$ értékeire a legnagyobbak az instabilitási zónák.



2. ábra



3. ábra



4. ábra

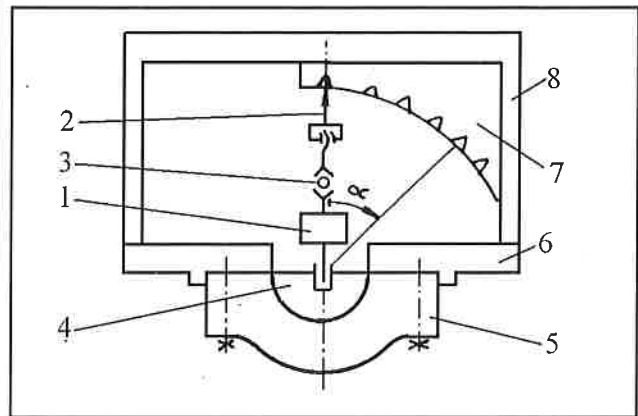
A felfüggesztett fekvőcsapágyak esetében a Hill-Mathieu-féle rezgések biztosan fellépnek, mivel ehhez csak a két főirányban mért rugómerevség 10–15%-os eltérése szükséges, illetve, hogy ezek aránya $k_1/k_2 \geq 1,10 \dots 1,15$ legyen.

A k_1 és k_2 rugómerevségek megállapításához szükséges, hogy több F_j megterhelés esetében (melyeket különböző α_j szögekben alkalmazunk) kiértékeljük a fellépő δ_{ej} elmozdulásokat. Ezeknek a segítségével végül meg lehet szerkeszteni az ún. merevségi ellipszist is (4. ábra).

Ezen értékek nagy pontossággal történő megállapítása megfelelő módszert feltételez, mely a jelen esetben a HI volt.

A próbapad leírása

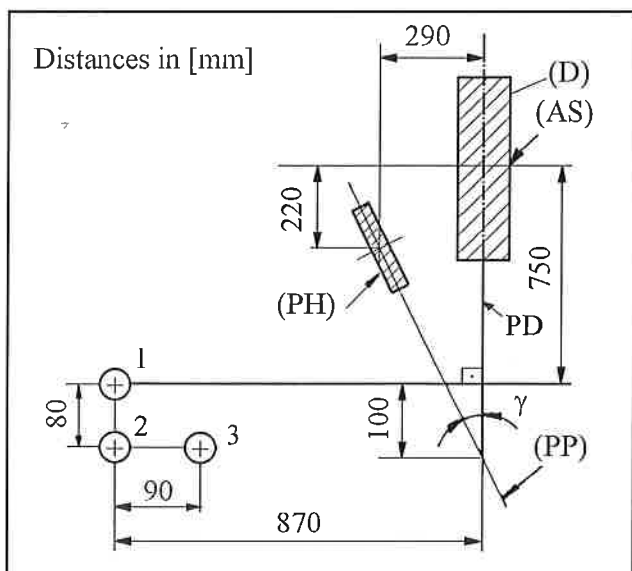
Annak érdekében, hogy a fekvőcsapágyak elmozdulásmezőjét a HI módszerrel meghatározhassuk, megterveztük és kiviteleztek az 5. ábrán bemutatott próbapadot. Ennek főbb komponensei a 8 merev keret, a 6 tartólap, melyre az 5 csapágyfedeleket a valódi rögzítési feltételek szigorú betartásával erősítettük fel. A csapágyat a 2 csavar, a 3 acélgolyó, az 1 tenzométeres cella, illetve a 4 acél félhenger segítségével terheltek. A megterhelés irányát (az α szöget) a 7 félkör alakú kiképzett alkatrész segítségével lehetett változtatni.



5. ábra

Kísérleti eredmények

A tanulmányozott fekvőcsapágy alsó része (csapágyfedél) egy román hathengeres soros motorból származott, melynek gyakori, jóval a névleges időtartam előtti tönkremenetele adta a jelen kutatás témáját.



6. ábra

A *D* stand koordinátáit, a kísérletek alatt, a 6. ábra mutatja be, ahol 1, 2 és 3 a fotókamera pozíciója; *PD* a csapágyfedél felfogási síkja; *PH* a hololemez, ill. *PP* ennek a síkja, míg *AS* a csapágyfedél szimmetria-tengelye.

A síkholográfia alapján, a csapágyfedélnek – a saját rögzítőcsavarjai irányában történő – d_1 lineáris elmozdulását az alábbi képlet adja meg:

$$d_1 = \frac{\lambda \cdot R_0 \cdot \cos \theta}{\Delta x_2 \cdot \operatorname{tg} \theta} \cdot \sqrt{(1 + \operatorname{tg}^2 \theta)^3}$$

ahol: $\lambda = 632,8$ nm a He-Ne lézerforrás hullámhossza;
 R_0 630 mm a megfigyelő és a csapágyfedél közötti távolság;
 Δx_2 a sávok távolsága vízszintes irányban mérve;
 θ [°] a megfigyelési szög a *PD* síkra merőleges irányához viszonyítva.

A 7. ábra egy ilyen körülmények között készített hologramot, míg a 8. ábra, az ennek alapján, a fenti képlet segítségével, a csapágyfedél saját elmozdulásmezőjét mutatja be. A távolságokat a jobb oldali rögzítő csavar tengelyétől mértük.

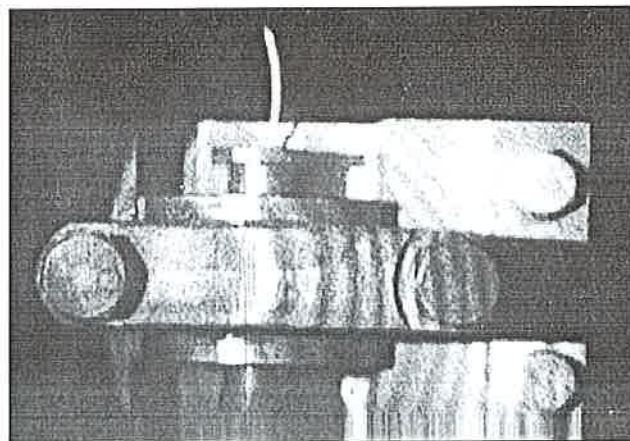
Összefoglalás

A holografikus interferometria rövid ismertetése után elemeztük a módszer előnyeit és hátrányait a roncsolásmentes anyagvizsgálat szempontjából. Bizonyítottuk, hogy a HI módszer jól ki tudná egészíteni a klasszikus roncsolásmentes vizsgálati módszereket, hozzájárulván a vizsgált alkatrész várható élettartamának a meghatározásához is.

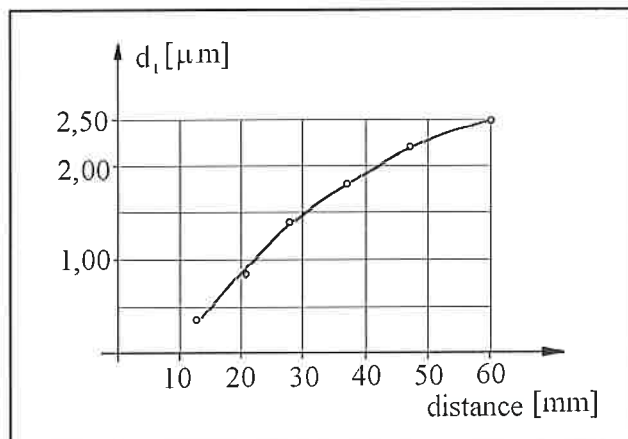
A módszer alkalmazását egy hathengeres traktormotorból kisserelt csapágy merevségének a kiértékelésével illusztráltuk, melyhez a saját tervezésű és kivitelezésű próbapadot használtuk.

Irodalomjegyzék

1. Füzessy, Z.: Háromdimenziós elmozdulás mérése holografikus interferometriai módszerekkel. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1982.
2. Vest, Ch.M.: Holographic Interferometry. New York, 1979.
3. Vienot, J.Ch.: Applications de L'Holographie. Université de Beçanson, 1970.
4. Tofan, M.C., Tára, Gr., Száva, J.: Sur des phénomènes de stabilité du système vilebrequinappuis élastiques des moteurs à combustion interne. Buletinul Universității Transilvania din Brasov, Seria A, Vol.XXXV, 1993, pag.117-123.



7. ábra



8. ábra

5. Száva, J., Sperchez, Fl., Tára, Gr.: Research on Crankshaft Bearing Optimisation from Dynamic Viewpoint. The 13th "Danubia-Adria" Symposium on Experimental Methods in Solid Mechanics, Rajceke-Teplce, Slovakia, 26-28.09.1996. Proceedings of the Symposium, pp.149-150.
6. Száva, J.: Doktori disszertáció. Brassói Transilvania Egyetem, 1993.

Repedésvizsgálat a korszerű Diffu-Therm készítményekkel

A festékbepótlós repedésvizsgálathoz – az eljárást szabadalmaztató által alapított – Helmut Klumpf Technische Chemie KG cég Diffu-Therm készítményeit: a BDR-L piros jelzőfolyadék – BRE vagy BRE-2 tisztító – BEA előhívó vizsgálórendszert ajánljuk, mert

⇒ valamennyi készítmény adagonként ellenőrzött és dokumentált korrózióelem-tartalma: az összes klór-, fluor- és kéntartalma lényegesen kisebb az MSZ EN ISO 3452-2 szabvány előírásainál is, és – természetesen – a korróziós hatás vizsgálati eredménye is negatív;

⇒ a rendszer vizsgálati érzékenysége – mert a jelzőfolyadék UV fényre is érzékenyített –, a hiba-felismerhetősége az MSZ EN ISO 3452-3 szabvány szerint ellenőrizve a lehető legjobb; ugyanakkor

⇒ mindenben kielégítik az EU-ban megszigorított környezet- és munkavédelmi követelményeket is, azaz a BDR-L piros jelzőfolyadék nem tartalmaz rákkeltő azofestéket, ásványolajmentes, vízzel is lemosható és gyengén vízveszélyeztető; a BEA előhívó oldószere és a BRE tisztító nem tartalmaznak halogénezett szénhidrogéneket.

A vízzel lemosható BDR-L piros jelzőfolyadék és a vízbázisú BEA-W előhívó vizsgálórendszert – kannás csomagolásban – azoknak a cégeknek ajánljuk, amelyeknél a rendszeres vizsgálati igény kielégítéséhez gazdaságos a technológiai sorba illeszthető vizsgálóhely telepítése, illetve nagy tömegű és méretű szerkezeteket gyártanak és azok hegesztési varratainak vizsgálata – különösen a tartályok belsejében – rendszeres igény.

Előnyös a vízzel kezelhető vizsgálórendszerrel végezni a vizsgálatot, mert az 5, 10 és 25 literes kannákban forgalmazott szerek használata gazdaságosabb, és munka- és környezetvédelmi szempontból még kedvezőbb: a PB-hajtógáz helyett sűrített levegős szórófejet használunk, és lényegesen kevesebb oldószert gőz kerül a munkatérbe, a mosóvíz összegyűjthető, tisztítható és újra felhasználható, azaz víztakarékos, illetve a leszűrhető tisztítási maradék kis térfogatú, azaz kevés és gazdaságosan kezelhető a gyengén veszélyes hulladéka.



A mágneses repedésvizsgálathoz – az ugyancsak környezetbarát – Diffu-Therm MPS-S fekete, vagy MPS-F fluoreszcens narancs színű mágnesezhető poros szuszpenzióit ajánljuk, melyek közül az MPS-S2-vel még 125 °C-os, illetve az MPS-F3-mal még 300 °C-os felületi hőmérsékletű szerkezeti elemek is elvégezhető a vizsgálat!

A **DIFFU-THERM** készítmények

kizárólagos hazai forgalmazója

a **TESTOR** Kft.

Budapest XII. Meredek utca 33.

Telefon: 319-1-319 • Fax: 319-2-284 • info@testor.hu

www.testor.hu