

## A termovízió alkalmazása az MBVTI Kft. Anyagvizsgáló Laboratóriumában

Bodolai Tamás

A termovíziós eljárással világszerte foglalkoznak, hogy minél tökéletesebben és megbízhatóbban lehessen alkalmazni az roncsolásmentes anyagvizsgálatok területén. Németországban például a szerkezeti elemek igénybevétele során keletkező feszültségek analizálására irányuló kísérletek folynak, míg Oroszországban egy olyan adatfeldolgozó algoritmus készítésére, amely megbízhatóbbá teszi a kiértékelést. Ez azért fontos, mert a felület minősége nagy mértékben befolyásolja a hibakimutathatóságot. A kutatás elsősorban a korrózió okozta hibák kimutatására irányul, illetve annak minél megbízhatóbb kiértékelésére.

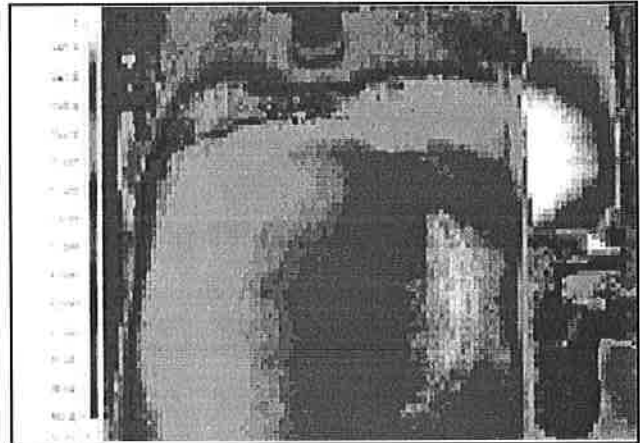
Az egyre tökéletesebb technika alkalmazása minden területen megköveteli az ellenőrzés fokozását a rejtett anyag- és alkatrészhibák feltárása céljából. A nehezen felfedezhető, de a gyártás során selejtet okozó hibák közé tartoznak – egyebek között – az öntvények hibái, mint pl. a légbuborékok, repedések, vagy az anyag általános inhomogenitása. Szintén fontos a hegesztések minőségének meghatározása, ami nagy jelentőségű a különböző konstrukciók megbízhatósága szempontjából. Hasonló jelenségek nem csupán a fémöntésnél vagy a hegesztésnél lépnek fel. Megfigyelhetők pl. a gépkocsi- vagy repülőgép-gumiabroncsok, a különböző műanyagtermékek gyártási folyamata során is. Az ilyen típusú hibák feltárásához az ultrahangos, a röntgen- és izotópos vizsgálat mellett az utóbbi időben egyre gyakrabban az infratelevíziós módszert is alkalmazzák. Hozzá kell tennünk, hogy az anyag fajtájától, méreteitől és alakjától, valamint a kívánt pontosságtól függően különböző eljárásokat használnak (vagy több módszer kombinációját egyidejűleg).

Laboratóriumunkban a következő területeken folynak kísérletek a termovízió bevezetésére:

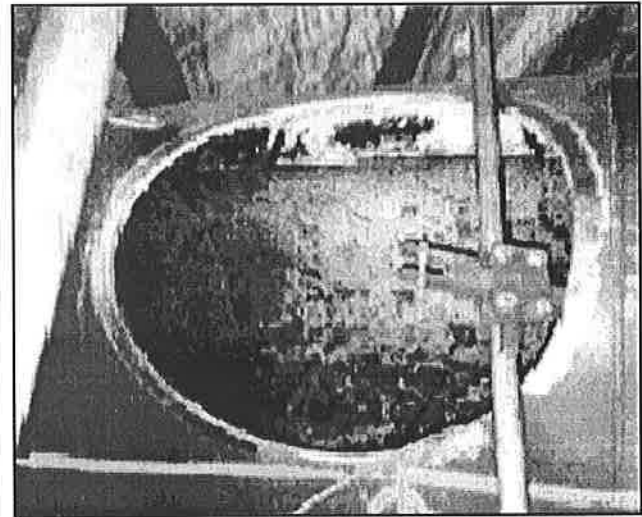
1. Az öntvények rejtett anyaghibáinak kimutatása a vizsgált alkatrész felülete mentén kialakuló hőmérséklet-gradiens megfigyelésén alapszik. Az öntvények anyaghibáit körülvevő részen csökken a keresztmetszet területe, ami ezen a helyen növeli a hőellenállást és így a hőmérséklet-gradiens növekedését okozza. A vizsgálatot kétféle módon is lehet végezni: az alkatrészt az egyik végénél elkezdjük egyenletesen melegíteni, vagy villamos áramot vezetünk át az alkatrészen és így az anyag saját tulajdonságaitól illetve a benne meglévő hibáktól függően felmelegedik.

2. A hegesztések vizsgálatánál, a hibák kimutatására hasonló eljárást alkalmazunk. A módszer talán annyiban különbözik az öntvényvizsgálatoktól, hogy a vizsgált felületre egyenletes festékréteget viszünk föl, így biztosítva az „azonos feltételeket” a hőszugárzás számára a teljes felületen (állandó  $\epsilon$ ).

3. A termovíziós eljárás jól alkalmazható a technológiai csővezetékben fellépő eróziós illetve korróziós hatások okozta hibák felderítésére és lokalizálására is. Képzünkön egy károsodott csőszakasz termovíziós (eredetileg színezett) felvételen jól látható a foltszerű meghibásodás, melynek hőmérséklete nagyobb, mint a csőszakasz más, hibátlan területének közel egyenletes hőmérséklete.



A másik termovíziós felvételen a csőszakaszon nagymértékű falvastagság-csökkenés látható, amelyet ultrahangos falvastagságméréssel is bizonyíthatunk.



### Következtetés

A felsorolt területeken elért eredmények kutatásaink folytatására késztetnek bennünket, hogy minél megbízhatóbb eredményeket tudjunk felmutatni a termovízió alkalmazási lehetőségeire. E rövid ismertető talán érzékeltette, hogy a termovízió egy gyors, új vizsgálati eljárást jelenthet a roncsolásmentes anyagvizsgálat defektoszkópiai alkalmazásában.

## Repülőgép hajtóművének rezgésmérése

Dr. Kovács Miklós

A gépek, gépalkatrészek egymáson elmozdulva a súrlódás, a felületi egyenetlenségek, a külső korrozív hatások és a nem megfelelő technológiai kiszolgálások (kenés, karbantartás, felületvédelem) következtében folyamatosan kopnak. Ezen kopási folyamat sebessége az élettartam időszakában változó, és nagyban függ az emberi tényezőtől. A kopás növekedésével az alkatrészek illesztése megváltozik, a minőségi muta-

tók folyamatosan romlanak és a rezgés növekedés-gradiense érezhetően növekedik.

A rezgés minden illetékt, forgó alkatrészen új állapotban is kimutatható, de ezen érték a minőségi követelmények küszöbértékének nagyságát sem érheti el. A berendezésekkel szembeni követelmények szerint ezen kiinduló értékeket szabványokban rögzítik, amelyekben meghatá-

rozzák a gép/gépegység minőségi fokozata és fordulatszám-tartománya szerinti rezgésebbesség vagy rezgésgyorsulás nagyságát.

A rezgés jelenségének magyarázatára a gördülőcsapágyakat, mind az egyik legszélesebb körben alkalmazott gépelemet hívom segítségül.

Tudott, és mindenki által tapasztalt jelenség a kopott csapágy akadózott futása mellett az erős zaj, és a remegő, rázkódó, egyenellen járás. Ezen rezgésből adódó egyenetlen járás a gerjesztés következtében az alkatrész fokozott igénybevételét, a terhelés kritikus szintre történő növekedését, majd az alkatrész törését idézi elő.

A rezgés amplitúdójának gyors növekedése és a gépalkatrész törése akkor válik kritikussá, ha a berendezés önrezgésszáma és a gerjesztés frekvenciája közeli tartományba kerül és a rezonancia jelensége lép föl.

#### A rezonancia jelenségének magyarázata:

A gerjesztett rezgés – csillapított – differenciál egyenlete harmonikus rezgés esetén.

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + k \frac{dy}{dt} + \frac{j}{c} = F_0 \sin(\omega t + \varphi)$$

A tömeg a saját rezgés és a gerjesztett rezgés eredőjének megfelelően fog mozogni. Ha az  $\alpha$  sajátrezgés frekvenciája és az  $\omega$  gerjesztési frekvenciája közel azonos, akkor a rezgés amplitúdója folyamatosan növekedő, míg a törés bekövetkezik.

$$y = y_0 \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - \omega^2} \sin(\omega t + \varphi). \text{ Ha } \alpha = \omega, \text{ akkor } \frac{\alpha^2}{0} \Rightarrow \infty$$

A gépek tervezésénél az  $\alpha = \frac{1}{\sqrt{mc}}$  értékének becslésével egy olyan üzemi fordulatszám-tartományt kell kiválasztani, hogy rezonancia ne alakuljon ki.

A repülőgép összetett rezgőrendszer. A hat szabadságfokú mozgás a rezgő alkatrészek egymásra hatásából a domináns – a nagy intenzitású és gerjesztésű rezgésnek megfelelően – hat az egész repülőgépre.

A repülőgép hajtóműve nagy tömegű, nagy energiát képvisel, forgó tömegei által a kiegyensúlyozottság szempontjából az egyik veszélyforrás, amire folyamatos odafigyelés szükséges.

A repülőgép hajtóműve áramlástechnikai gép, ahol a kompresszorok által összesűrített és előmelegített levegő az égőtérben a hozzá vezetett kerozint elégeti és a turbinákra nagy hőmérsékletű és nyomású égésterméként áramlik.

A kiáramló gáz a turbinákban az expanzió alkalmával annyi energiát szolgáltat, hogy a folyamatos üzem érdekében hajtja a kompresszort és az üzemből tartáshoz szükséges összes segédberendezést. A kiáramló gáz a fúvócső propulziós hatása révén fejti ki a repülőgép mozgásához szükséges tolóerőt.

A repülőgép hajtóművének az élettartam-tartományában (15 000-25 000 üzemóra) biztonságosan, megbízhatóan kell üzemelni. A repülés biztonsága megkívánja, hogy a szükséges és elégséges karbantartások és ellenőrzések elvégzése mellett a hajtóművek véletlenszerű meghibásodása ne következzen be. A repülőgép levegőben történő fennmaradásához a hajtóművek biztosítják azt a repülési sebességet, amely a felhajtóerő termeléséhez szükséges. Ezen tolóerő-igényt a repülés különböző fázisaiban a hajtóművek 75-105%-os fordulatszám-tartományban elégítik ki. Az utazómagasságban, 10-11 km magasan a 75%-os teljesítmény is elégséges, míg felszállásnál a gyorsítás időtartama – max. 5 percig – a 105%-os igénybevétel is engedélyezett.

A hajtóművek kompresszor- és turbinalapátjai egytengelyűek, több helyen golyós- és görgőcsapággal ágyazottak. A gördülőcsapágyakkal szembeni követelmény, hogy a hajtómű rövid élettartama alatt a csapágyazás meghibásodásából a hajtómű sérülése ne következzen be.

A csapágyazás a kapcsolt hajtások meghibásodásából adódó túlerhelést is hivatott kompenzálni. A meghibásodásokból adódó rezgések direkt vagy indirekt módon a központi tengelyen érzékelhetők, ami az ellenőrzést lehetővé teszi.

A rezgések nagyságát a próbapadi méréseknél és a hajtómű élettartam – kísérleteinél meghatározzák, és azt mint kiindulási – gyári – értéket a hajtómű naplójában rögzítik. Az üzem közbeni értékeket a hajtómű-technológia tartalmazza, pontosan rögzítve azon rezgésküszöb értékeket, ahol a figyelmeztető tabló kigyullad, illetve a hajtómű azonnali leállítása szükséges. Például:

– ha a „veszélyes rezgés” tabló kigyullad, akkor ellenőrizni kell az összes üzemi paramétert (gázhőmérséklet, olajhőmérséklet, kis- és nagynyomású fordulatszám, olaj-, és üzemanyag nyomás, a külső levegő paraméterei)

– ha a „veszélyes rezgés” tabló kigyulladásával az olajhőmérséklet is intenzíven növekedni kezd, a hajtómű tűzoltórendszerét rá kell sütni, és a hajtóművet le kell állítani.

A repülőgép hajtóművének rezgésmérése a mellső és a hátsó csapágytám síkjában a hajtómű külső köpenyén elhelyezett mérőszondával történik. A mérőegység elhelyezéséből adódóan a mérés a függőleges rezgés nagyságára korlátozódik.

A TU-154-es típusú repülőgépeken a függőleges irányú rezgésebbességet mérjük egy rugósmágneses induktív szonda segítségével.

A Boeing 737-es típusú repülőgépeken a függőleges irányú rezgésgyorsulást mérjük piezoelektromos érzékelő szonda alkalmazásával.

A mérőszondák a hajtómű külső köpenyén vannak rögzítve úgy, hogy a vertikális irányú sebesség- és gyorsuláskomponens érzékelésére alkalmasak legyenek. A szondákból érkező gyenge elektromos jeleket a központi erősítőegységen átvezetik, majd a pilóták műszereire és a jelző tablókra csatlakoztatják. A „veszélyes rezgés” tabló előtt egy különbségképző egység a beérkező jelet értékeli és a szükséges időben az információt a „fekete doboz” felé továbbítja. A „fekete doboz”-t csak a „veszélyes rezgés” érték elérése után informálja.

#### Az érzékelő szondák felépítése:

A rezgésebbesség-érzékelő szondánál egy rugókra (3 db) felfüggesztett állandó mágnes a szondaházban rögzített tekercsben elmozdul, és az elmozdulással arányos áramot indukál. A rezgés gyorsulásával arányos nyomóerő, a piezokristályokra (5 db) támaszkodó nyomólap hatására indukál áramot. Az 5 db piezokvarckristály sorba kötésével lehet növelni az indukált áram nagyságát, amit tovább erősítenek. Az ellenőrző rendszer on-line üzemmódban működik, biztosítva a folyamatos ellenőrzést és jelzést a pilóták számára.

A rezgés sebességének és gyorsulásának a mérésére kiépített ellenőrző rendszerek hajtómű típusonként egyedi felépítésűek. Az ellenőrzés adatait, küszöbértékeit a próbapadi vizsgálatok alkalmával határozták meg, abszolút értékek nincsenek. A mérőrendszerek üzembiztonságának érdekében a mozgó alkatrészeket a rendszerből kiküszöbölik, így a piezoelektromos elven működő rendszerek terjednek el széles körben.

A számítógép-technika fejlődésével az „egy” mérőhelyes rezgésmérés is kezd elterjedni, ahol a piezoelektromos szondát a központi rezgésikban elhelyezve, az egész hajtóműrendszer rezgése mérhető. A mérőrendszerek folyamatosan fejlődnek, a hajtóműgyárak a biztonság fokozott javítása érdekében anyagi áldozatvállalásra is képesek.