

Bozóki János, Kavás László, Óvári Gyula

HAGYOMÁNYOS ÉS KORSZERŰ VIZSGÁLATI TECHNOLÓGIÁK TALÁLKOZÁSA A LÉGIJÁRMŰKARBANTARTÁS EGY KIEMELTEN FONTOS TERÜLETÉN

A 90-es évek közepétől a Magyar Honvédség légierejében, a negyedik generációs repülőgépek megjelenésével korszerű üzemeltetési rendszerek kerültek bevezetésre, amelyeknek egyik fontos eleme a megfelelő roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek alkalmazása. Egyre több speciális igény fogalmazódik meg az NDT eljárásokkal szemben, mint például a folytonossági hiányok geometriájának, térbeli elhelyezkedésének, méretének a vizuális megjelenítése és dokumentálása. A katonai alkalmazás elengedhetetlen feltétele a mobilitás, tehát akár harctéri körülmények között is használható legyen. Jelen publikáció bemutat egy, a katonai légi járművek üzemeltetése során alkalmazható, nagy térbeli felbontóképességgel rendelkező mágnesszenzorra épülő örvényáramú mérőszonda alkalmazási lehetőségét. A bemutatott mérőszonda alkalmazással az anyaghiba elhelyezkedéséről, esetleges térbeli kiterjedéséről is információt kapunk. Ennek gyakorlati jelentősége akkor nyilvánul meg igazán, amikor kritikus elhelyezkedésű vagy méretű hibahelyeket kell megkülönböztetni a biztonság számára irreleváns egyéb anyaghibáktól, illetve a konstrukciós elemek hatásaitól.

Kulcsszavak: harcászati repülőgépek; roncsolásmentes anyagvizsgálat, mágnesszenzor, örvényáramú roncsolásmentes anyagvizsgálat, helikopter;

1. BEVEZETÉS

Korunk nemzetközi biztonságpolitikai változásait követve a magyar fegyveres erők is folyamatos szervezeti és funkcionális változásokon mentek keresztül. A Magyar Honvédség (MH) tömeghadseregből, azonnal bevethető haderővé alakult át, mellyel aktív résztvevőjévé vált NATO-műveleteknek. A 90-es évek közepétől napjainkig az MH légierejének kötelékében számos új, a kor technikai színvonalán álló haditechnikai eszköz állt hadrendbe (JAS-39 EBS HU Gripen, MiG-29 vadászipülőgépek). Utóbbiak megjelenése szükségessé tette modern üzemeltetési és diagnosztikai rendszerek alkalmazását is, melyek egyik speciális eleme a roncsolásmentes anyagvizsgálat. Ezekre a megoldandó feladatok széles skálája, valamint az egyes módszerek alkalmazhatóságának korlátai miatt van szükség. Hibadetektálásra több, különböző vizsgálati eljárás létezik, melyek teljesítőképessége egyrészt eltérő, másrészt alkalmazhatóságuk nagymértékben függ a vizsgálandó tárgy méretétől, jellegzetességeitől, a rendelkezésre álló mérési időtől, környezeti viszonyoktól, így felhasználhatósági összevetésük sem lehet teljes mértékben egzakt. A megoldandó feladat tisztázását követően, a legjobban megfelelő roncsolás-mentes vizsgálati eljárást, vagy ezek célszerű kombinációját szükséges alkalmazni. Ennek metodikája nagymértékben függ a vizsgálati tárgyakban várható hibaféleségek típusától, méretétől, irányítottságától, a keresett folytonossági hiány pozíciójától, felületi mélységi helyzetétől. E publikáció egy, a katonai légi járművek üzemeltetése során felhasználható, nagy térbeli felbontóképességgel rendelkező, mágneses szenzorra épülő örvényáramos roncsolás-mentes anyagvizsgálati (Eddy Current Test) (ET)¹ módszer alkalmazási lehetőségét mutatja be. A mérőszondát felhasználva az anyaghiba elhelyezkedéséről, esetleges térbeli kiter-

¹ ET - Eddy Current Test (örvényáramú roncsolásmentes anyagvizsgálat)

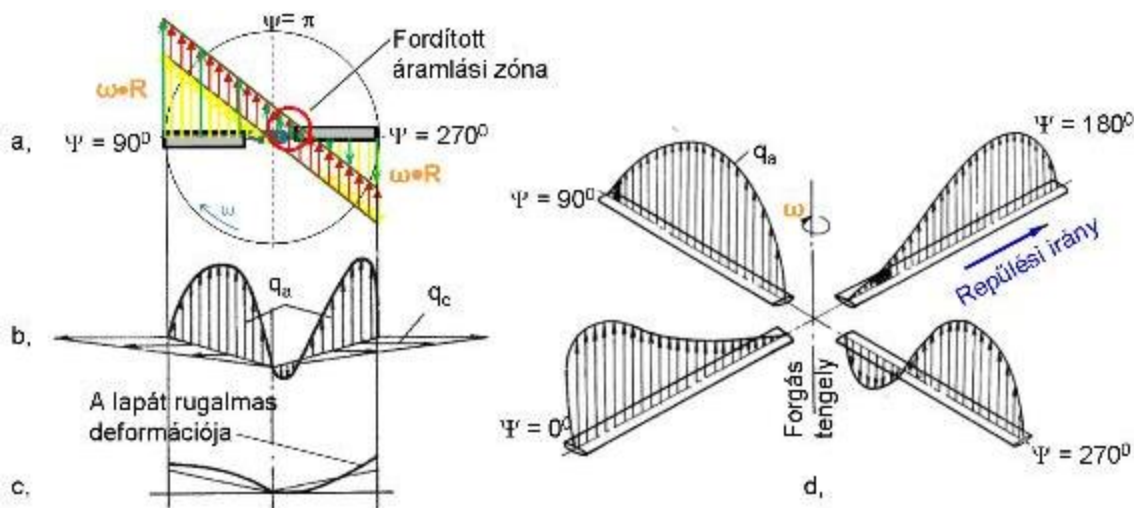
jedéséről is információt kapunk. Ennek gyakorlati jelentősége markánsan akkor jelentkezik, amikor kritikus elhelyezkedésű, vagy méretű hibahelyeket kell megkülönböztetni, a biztonság számára irreleváns, egyéb anyaghibáktól, illetve a konstrukciók elemek hatásaitól.

2. EXTRÉM REPÜLŐGÉP TERHELÉSEK VIZSGÁLATI LEHETŐSÉGE

A repülőeszközök elvárt, illetőleg előírt gazdasági-hatékonysági és biztonsági mutatókkal bíró működése, - a gondos tervezést, gyártást követően - csak az üzemeltetés során folyamatosan fenntartott, magas színvonalú állapotellenőrzés biztosításával lehetséges. Ennek meghatározó területe, a megbízható működés szempontjából kiemelkedő fontosságú, nagy terheléseknek kitett szerkezeti elemek (szárnyak, forgószárnyak, légcsavarok, a hajtóművek forgó és/vagy termikusan terhelt gépegységei [10][11], futóművek [8], fedélzeti fegyverek [9] rögzítési pontjai stb.) műszaki állapotának folyamatos, nagy pontosságú mérése, figyelemmel kísérése, majd a szükséges javítási, karbantartási munkálatok pontos végrehajtása.

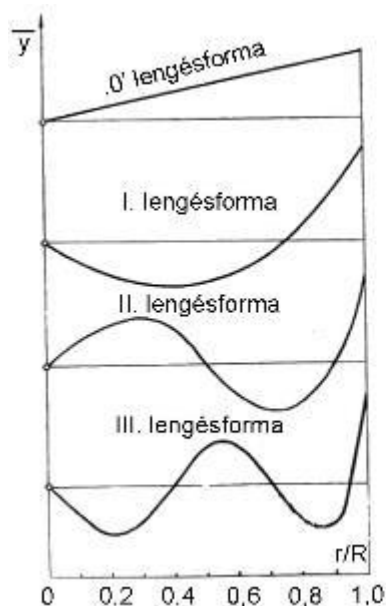
2.1. A forgószárnyak terhelése [1]

A helikopterek legnagyobb váltakozó aerodinamikai és mechanikus terhelésnek kitett szerkezeti eleme a - ferde átáramlási üzemmódon működő (haladó mozgást végző) - forgószárny. Ennek lapátjain a megfúvási viszonyok, a teljes körülfordulása során, minden ψ azimuthelyzetben változnak (1.a. ábra), melynek következményeként rajtuk folyamatosan, periódikusan változó nagyságú és terjedtség menti eloszlású légerők ébrednek (1.b. és d. ábra). Utóbbi felhajtóerő összetevője (q_a) a vonóerő síkjában a lapátok csapkodó mozgását, terjedtség menti megoszlásának váltakozása pedig ciklikusan váltakozó, rugalmas deformációját (hajlító lengések) hozza létre azokon (1.c. ábra).

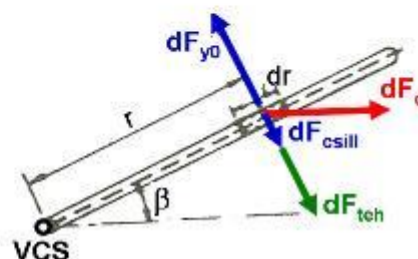


1. ábra Forgószárny terhelése és deformációja ferdeátáramlási üzemmódon [7]

A forgószárny repülési üzemmódjától, anyaga, szilárdsági, merevségi, rugalmassági és tömegviszonyaitól (EI , GI_p , m stb.) függően a lapátok lengésformája (tónusa) is különböző lehet (2. ábra).



2. ábra Forgószárny lapát lengésformák [7]



3. ábra Csapkodó lapáton keletkező erők [7]

Megjegyzés: e cikkben, a forgószárny lapátok légerő terhelés okozta periodikus csavaró igénybevételek elemzésétől – a nagyságrendi különbségek miatt – eltekintünk.

A vonóerő síkjában a csapkodó mozgást végző lapátok vízszintes csuklóhoz (VCS), (vagy csukló nélküli lapátbekötéshez) viszonyított pillanatnyi egyensúlyát a folyamatosan változó erők (F_{y0} – felhajtóerő, F_{csill} – aerodinamikai csillapítóerő, F_c – centrifugális erő, F_{teh} – tehetetlenségi erő) nyomatékának egyensúlya határozza meg (3. ábra):

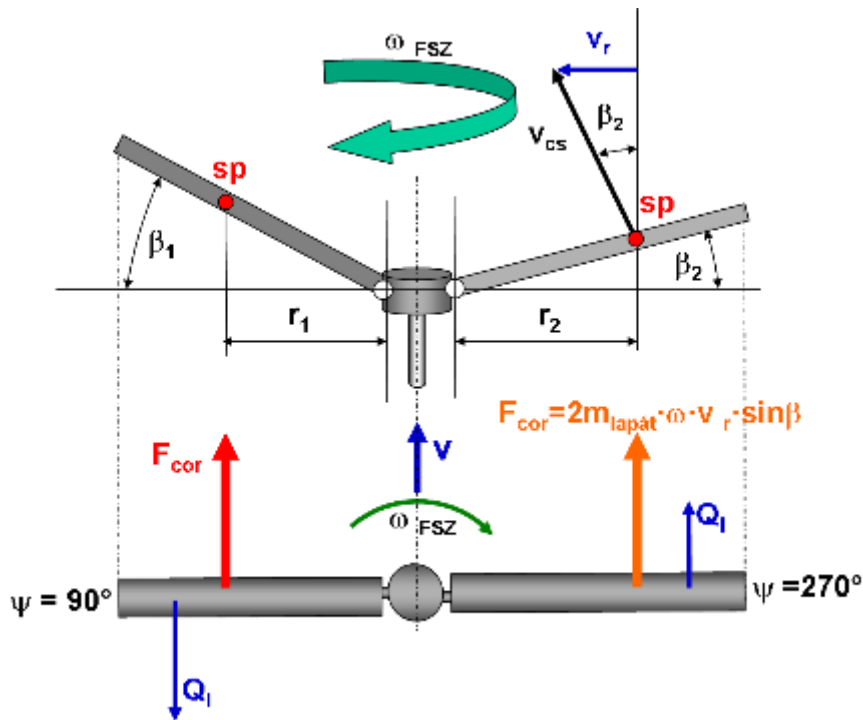
$$\Sigma dM_{vcs} = dMF_{y0} - dMF_{csill} - dMF_c - dMF_{teh} = 0 \quad (1)$$

A forgó-haladó csapkodó mozgást végző lapátokon, Coriolis-erők (F_{cor}) is ébrednek (4. ábra), melyek azokat a forgás síkjában lengőmozgásra (az előrehaladó, felcsapó lapátokat sietésre, a hátrahaladókat késésre) készítik.

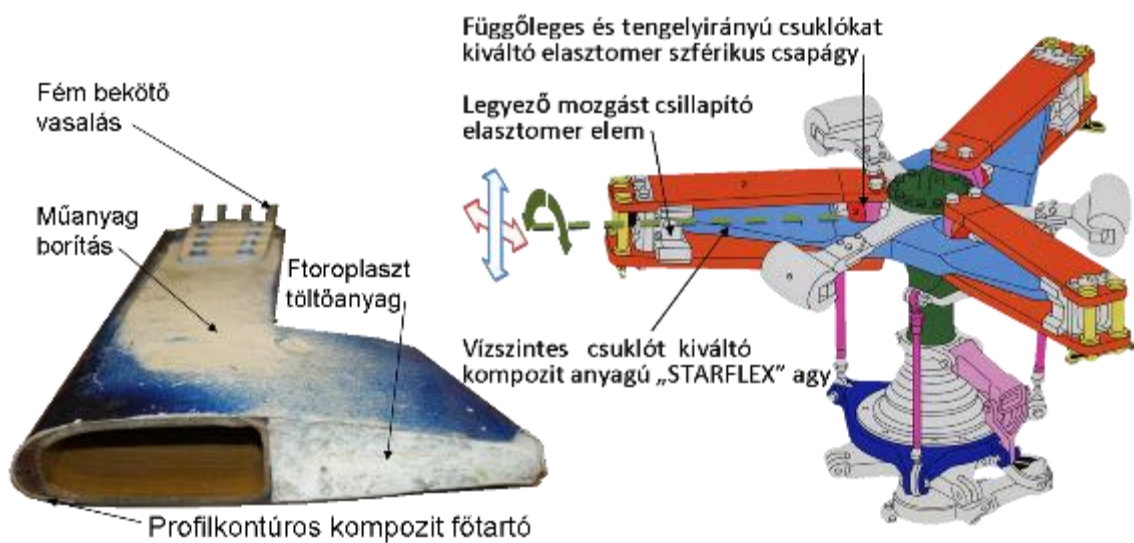
Mindezek konklúziójaként megállapítható, hogy:

- a – ferde átáramlási üzemmódon működő – forgószárny-lapátokon, közel állandó nagyságúnak tekinthető centrifugális (F_c), valamint a periodikusan váltakozó nagyságú F_{y0} , F_{csill} , F_{teh} , illetve F_{cor} erők nagy statikus igénybevételekre szuperponálódó jelentős dinamikus igénybevételeket eredményeznek;
- a repülésbiztonság szempontjából kiemelt fontosságú, komplex igénybevételeknek kitett forgószárnyban létrejövő anyaghibák – fém eszközökhöz rendszeresített – hagyományos eszközökkel történő műszeres detektálása számos konstrukciónál azért nem lehetséges, mert a lapátokat a gyártók többsége már a 60–70-es évektől szendvics szerkezetűre, illetve műanyagból (5. ábra), napjainkra pedig már az agyakat is gyakran döntően kompozit elemekből készítik (6. ábra).

Következtetés: szükség van új, magas megbízhatóságú módszerek, eszközök és eljárások fejlesztésére, kimunkálására a műanyag, kompozit szerkezeti elemek anyaghibáinak megbízható detektálására.



4. ábra Coriolis-erők keletkezése [7]



5. ábra Ka-26 forgószárny lapát metszet (saját fotó)

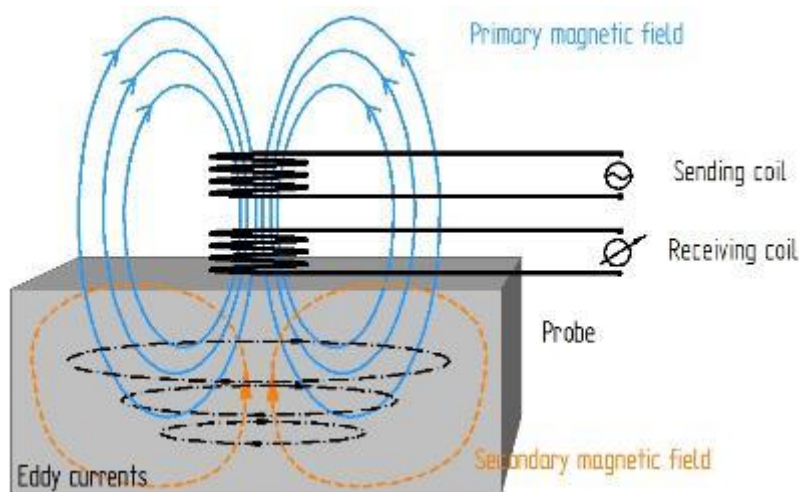
6. ábra Kompozit forgószárny agy [7]

3. ÖRVÉNYÁRAMÚ ANYAGVIZSGÁLÓ BERENDEZÉS ALKALMAZÁSA KATONAI LÉGIJÁRMŰVEK ÜZEMELTETÉSÉBEN

3.1. Örvényáramos roncsolásmentes anyagvizsgált

Az örvényáramos anyagvizsgálat, illetve méréstechnika működési alapelve az elektromos vezető (továbbiakban csak vezető) anyagok és váltakozó mágneses tér között kialakuló fizikai kölcsönhatásból adódik. Ha vezető anyagot változó mágneses térbe helyeznek, az indukció jelensége alapján bennük elektromos feszültség keletkezik, amely hatására elektromos áram indul meg. Mivel egy homogén anyag belsejében nincs korlát a lehetséges áramutakra vonatkozólag,

azért az így kialakuló térben eloszlással rendelkező áramot örvényáramnak nevezzük. Ennek térbeli eloszlása, – egyéb feltételek hiányában – a Lenz törvényének megfelelően alakul ki: az örvényáramok saját mágnestere a külső mágnesztér anyagba történő behatolását igyekszik megakadályozni, mivel az tükörként részben visszaveri a külső hatást.



6. ábra Örvényáramos roncsolásmentes anyagvizsgálat elvi vázlat [6]

Ebből adódóan az örvényáramok térbeli eloszlása ez esetben a gerjesztő külső mágnesztér, illetve annak térbeli eloszlása, valamint az anyagi minőség (vezetőképesség és mágneses permeabilitás) által meghatározott (6. ábra) [3][5].

A klasszikus örvényáramú mérés technikában az anyag és a külső mágnesztér közötti eredő kölcsönhatás mértékének változását mérik. Ugyanis a vizsgált anyag belsejében megtalálható hibahelyek (folytonossági hibák, vagy bizonyos szerkezeti elváltozások: pl. fázisátalakulások) lokálisan befolyásolják az anyag vezetőképességét. Ez pedig visszahat a kialakuló örvényáram eloszlás térbeli szerkezetére és intenzitására, így az anyag mágnesztérrel szembeni eredő visszatükröző képességére is. A gyakorlatban az anyag és a mágnesztér közötti kialakuló kölcsönhatás mértékének vizsgálatára egy egyszerű tekercset ún. impedanciatekercset alkalmaznak. Egy adott geometriájú tekercs által létrehozott mágneses térenergiaja ugyanis a tekercsben folyó áramon, a tekercs terében található anyagok mágneses tulajdonságainak, illetve a kialakuló mágnesztér térbeli eloszlásának függvénye. A térbeli eloszlást viszont a vizsgálandó anyag, illetve az abban található hibák befolyásolják. Ezáltal a hibahelyek az impedanciatekercs mágneses terének energiájára, így impedanciájára is visszahatnak. A klasszikus módszer egyik hátránya, hogy az alkalmazott impedanciatekercs körül a teljes mágneses átgerjesztett térfogatból szolgáltat információt, ami a gyakorlatban jelentősen csökkenti az elérhető térbeli felbontást. A gerjesztés irányában, a vizsgált minta felületére merőlegesen egy homogén anyag belsejében az örvényáramok eloszlása egy exponenciálisan lecsengő függvény szerint alakul. A csillapodás mértéke a vezetőképesség, a permeabilitás és a mágnesztér frekvenciájának függvénye. Minél nagyobb ez a frekvencia, annál intenzívebb a kölcsönhatás, tehát annál erősebben csillapodnak a mélység függvényében az örvényáramok, azaz annál kisebb az ún. behatolási mélység. A klasszikus örvényáramú mérés technika esetében a jobb térbeli felbontás érdekében csökkenteni kell az impedanciatekercs geometriai méretét, ami az impedanciájának jelentős csökkenésével jár együtt. A mérés elve tehát az, hogy a mágneses mező változását érzékeny elektronikus eszközökkel mérni lehet. A

mérés során a vizsgált tárgyban haladó áram impedanciájának változást mérjük. Az impedancia az (1) összefüggés segítségével határozható meg [3].

$$Z = R \cdot \sin \omega \cdot t + X_L \cdot \cos \omega \cdot t \quad (2)$$

ahol:

- Z – impedancia [Ω],
- R – ellenállás [Ω],
- X_L - induktivitás [Ω],
- ω - körfrekvencia [1/s],
- t – fázisidő [s].

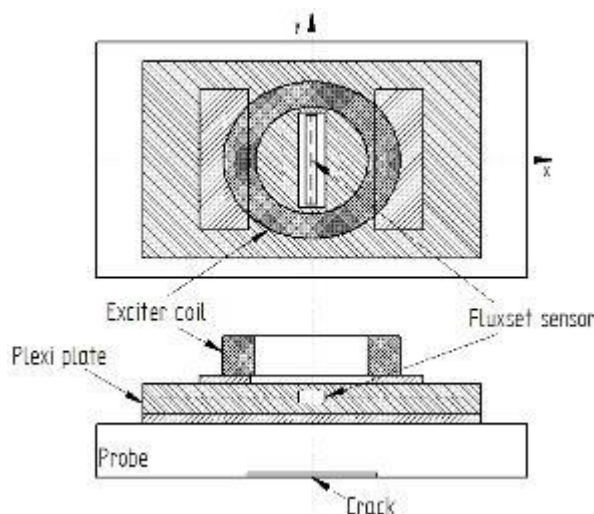
A (2) kifejezésből a Z vektor nagysága (abszolút értéke),

$$|Z| = \sqrt{X_L^2 + R^2} \text{ a fázisszöge pedig } \varphi = \arctg\left(\frac{X_L}{R}\right) \quad (3)$$

3.2. Mágnesszenzor alkalmazásának jelentősége

A klasszikus örvényáramú anyagvizsgálat lehetőségeiben rejlő ellentmondásokat a gerjesztés és az érzékelés szétválasztásával lehet feloldani. Ez a szeparáció lehetővé teszi, hogy olyan gerjesztőtérrel alkalmazzunk, amely esetében a kimutatandó hibahely a lehető legjobban megzavarja az anyag belsejében az örvényáramok eloszlását; illetve, hogy a mérőelemet térben úgy helyezzük el, hogy az a lehető legérzékenyebb módon észlelje ezt a zavart (az örvényáramok térbeli eloszlásának torzulása hatására, a mágnes térben megjelenő torzulásokat). A kellő behatolási mélység biztosítására elektromosan jól vezető anyagok (pl. alumínium) esetében az alkalmazható gerjesztőtér-frekvencia mindössze néhány kHz. Ilyen alacsony frekvenciájú mágnes teret induktív módon már nehézkes mérni, nagy érzékenységet pedig egyéb fizikai okok miatt lehetetlen elérni. Így kézenfekvő, hogy az örvényáramú anyagvizsgálati mérőfejben az érzékelő elem szerepét egy magas szenzibilitású mágnesszenzor (Fluxset) töltsse be. A kisméretű Fluxset mágneses térmérő eszközt két tulajdonsága teszi ideálissá az örvényáramú anyagvizsgálatra:

- nagy térbeli felbontóképesség (jobb, mint 50 μm);
- frekvencia-független érzékenysége, (mely, a nagy behatolási mélységet igénylő alacsony-frekvenciás vizsgálatok során döntő jelentőségű).

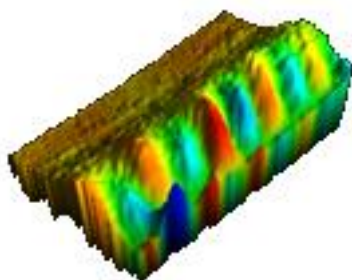


7. ábra Örvényáramú mérés elrendezés elvi vázlata [6]

A 7. ábrán az örvényáramú mérés elrendezés elvi vázlata látható. A gerjesztő tekercs az örvényáramok létrehozására szolgál a vizsgálandó, elektromosan vezető mintában. Az utóbbi felületéhez közel elhelyezkedő mágnesestér-mérő szenzor, az örvényáramok által keltett mágneses teret méri. A szenzor a hosszirányú mágneses terekre érzékeny, a keresztirányúakra érzéketlen. Ha az elektromos vezetőképességet befolyásoló bármilyen hiba van az anyagban (repedés, légbuborék, zárvány stb.), akkor ott az örvényáramok által keltett mágneses tér lokálisan megváltozik, ami a szenzor jelének változását eredményezi [2][4].

3.3. A mágneses képalkotás jelentősége és sajátosságai

A nagy térbeli felbontóképességgel rendelkező Fluxset mágnesszenzorra épülő örvényáramú mérőszonda alkalmazásával létrejön annak lehetősége, hogy az anyagvizsgálat során, ne csak a tanulmányozott alkatrész egy-egy pontján végzett mérés számértékeiből következtessünk az anyaghiba jelenlétére, hanem annak elhelyezkedéséről, esetleg térbeli kiterjedéséről is információt kaphassunk. Ennek gyakorlati jelentősége akkor nyilvánul meg igazán, amikor kritikus elhelyezkedésű, vagy méretű hibahelyeket kell megkülönböztetni, a biztonság számára irreleváns egyéb anyaghibáktól, illetve a konstrukciós elemek hatásaitól. A Fluxset mérőfej ugyanis lehetővé teszi a hibahely környezetének térbeli (felület menti) kézzel történő letapogatását, amely letapogatás az egyes mérési ponthoz képest hatalmas mennyiségű többlet információval szolgál. Ezt az információmennyiséget a „FluxGet” mérőszoftver képpé tudja alakítani. A mágneses tér, – ahogy azt a Maxwell egyenletek leírják – ún. örvényes (forrásmentes) tér. Azaz, zárt és teljes rendszerben (az örvényáramú mérésben a kölcsönhatásban résztvevő környezete ennek tekinthető) a mágneses tér erővonalai, a fluxusvonalak zártak. Ebből adódóan a vizsgált mintadarab felületén mérhető mágneses tértorzulások ún. kettős, dipólus jellegűek, azaz a ki és visszatérő erővonalakból épülnek fel. Ezért az adott hibahelyről készült mágneses mezőkép a hiba geometriájához képest összetettebb, értelmezése gyakorlatot igényel. (8. ábra) [1].



8. ábra Helikopter forgószárny lapát méhsejt-szerkezetéről alkotott kép [saját fotó]

3.4. A mért fizikai mennyiség

A mágnesszenzoros örvényáramú mérőfej a vizsgált mintadarabban kialakuló örvényáram eloszlás térbeli torzulásait méri az örvényáramok mágneses mezejében tapasztalható mágneses térbeli torzulások érzékelésével. A mért fizikai mennyiség tehát mágneses térerő, melynek frekvenciája azonos a gerjesztő térerővel, így az e tér hatására indukált örvényáramok frekvenciájával. Szinuszos (egy frekvenciás) gerjesztés esetén és lineáris közegben a visszamért mágneses tér is egyetlen frekvenciakomponenst tartalmaz, melyet két paraméter ír le és a (4) összefüggés segítségével határozható meg:

$$\vec{M}(t) = M_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi) = X_0 \cdot \cos(\omega t) + Y_0 \cdot \sin(\omega t) = \vec{X}(t) + \vec{Y}(t) \quad (4)$$

ahol:

- $\vec{M}(t)$ - a mágneses tér szenzorirányú térbeli komponensének időfüggvénye,
- M_0 - az amplitúdó vagy magnitúdó (a mágneses tér erőssége);
- φ - a mágneses tér fázishelyzete;
- $\omega=2\pi f$ - a mágneses tér körfrekvenciája;
- f - a mágneses tér frekvenciája;
- t az idő;
- X_0 a mágneses tér ún. valós részének nagysága;
- Y_0 a mágneses tér ún. képzetes részének nagysága;
- $\vec{X}(t)$ illetve $\vec{Y}(t)$ a mágneses tér valós illetve képzetes részének időfüggvénye.

Tehát a mérésadatgyűjtő rendszerben a mérőfej minden térbeli helyzetéhez két skalármennyiség: X és Y , vagy M_0 és φ értékek tartoznak, illetve ezek kerülnek ábrázolásra [1].

3.5. A „FluxGet” örvényáramú roncsolásmentes anyagvizsgálati berendezés felépítése

A „FluxGet” örvényáramú roncsolásmentes anyagvizsgálati berendezés vezető és/vagy mágneses anyagok vizsgálatára szolgáló független mérőrendszer. A berendezés tápellátása a hordozható személyi számítógép saját akkumulátoráról, illetve közvetve, az ehhez a számítógéphez csatlakoztatott hálózati tápegységről valósul meg. A berendezés működés közben más készülékhez nem kapcsolódik. Az örvényáramú mérőfej a kábelen keresztül csatlakozik a hordozható személyi számítógép USB és analóg portjaihoz. A számítógép tápellátását (opcionálisan) a hozzá tartozó tápegység szolgáltatja (9. ábra).



9. ábra A „FluxGet” mérőrendszer fő funkcionális egységei [saját fotó]

3.5.1 A „FluxGet” mérőrendszer fő funkcionális egységei

- hardver elemek:
- hordozható személyi számítógép;
- örvényáramú mérőfej(ek);
- szoftver elemek:
- „FluxGet” mérés-adatgyűjtő és kiértékelő szoftver;
- felhasználói kezelőfelület és adatgyűjtő rendszer;
- DSP Lock-In jelelemző rendszer;

- USB portos mérőfej-kommunikációs rendszer;
- 3D megjelenítést végző grafikus motor.

A mérőrendszerhez további, különböző mérési feladatokhoz optimalizált mérőfej is csatlakoztatható.

3.5.2 Az örvényáramú mérőfej

Az örvényáramú mérőfej feladata, a mérésadatgyűjtést végző hordozható számítógép számára adatokat szolgáltatni a vizsgált mintadarab felületén mérhető mágnestér nagyságáról, illetve a mérőfej térbeli (felület menti) elhelyezkedéséről. Ezen kívül tartalmazza a vizsgált mintadarab mágneses gerjesztéséhez szükséges elektronikai és mágneses funkcionális egységeket.

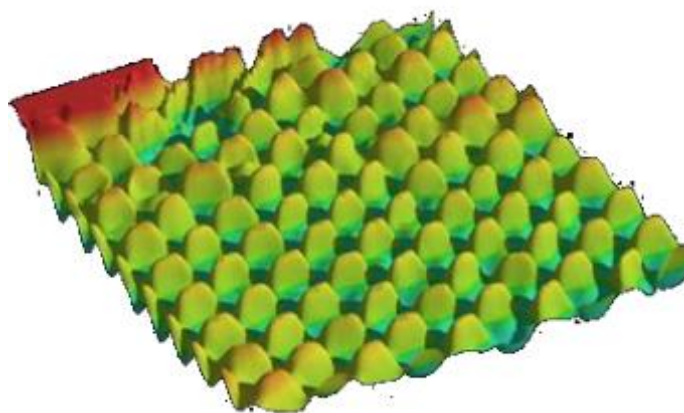
3.5.3 Az örvényáramú mérőfej kialakítása

Az örvényáramú mérőfej központi funkcionális egysége a Fluxset szenzorra épülő mérőszonda. Ez tartalmazza a vizsgált anyag mágneses gerjesztéséhez szükséges mágnesköröket, elektronikát; valamint magát a szenzort, illetve az ennek működtetéséhez szükséges elektronikát. A mérőfej mozgásáról, illetve mindenkori térbeli pozíciójáról a fejébe épített két nagyfelbontású optikai érzékelő szolgáltat információt.

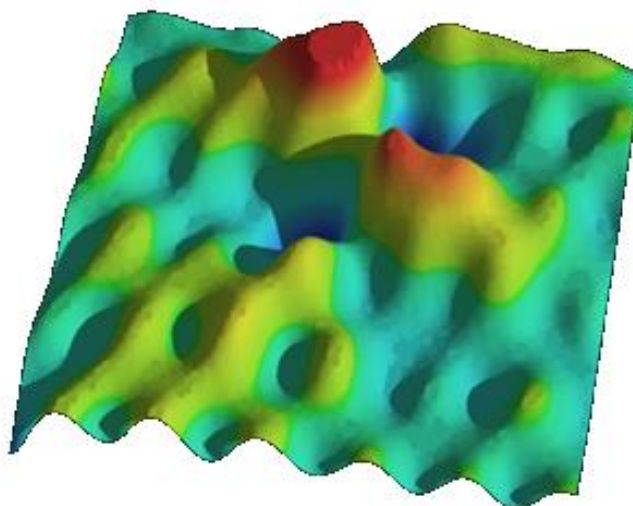
4. A „FLUXGET” ÖRVÉNYÁRAMÚ RONCSOLÁS MENTES ANYAG-VIZSGÁLATI BERENDEZÉS ALKALMAZÁSI TERÜLETEI

4.1 Méhsejt építésű szerkezeti elemek

A repülőgépek sárkányszerkezetének (például a nagyfelületű, méhsejt építésű szárnszerkezeti elemek) átvizsgálásakor egy átfogó, kisebb felbontású kép létrehozását követően, a problémás területekre szűkítve a vizsgálatot, lehetséges a felbontás a pontosság növelésével lokalizálni a folytonossági hiányt, vagy deformációt. A bonyolultabb belső szerkezetű, összetett, többretegű anyagok esetében is megvalósítható a képalkotás. Helikopter forgószárny lapát méhsejt szerkezetének a „FluxGet” örvényáramú roncsolásmentes anyagvizsgálati berendezés segítségével készített képei láthatóak az 10. és a 11. ábrán [2].



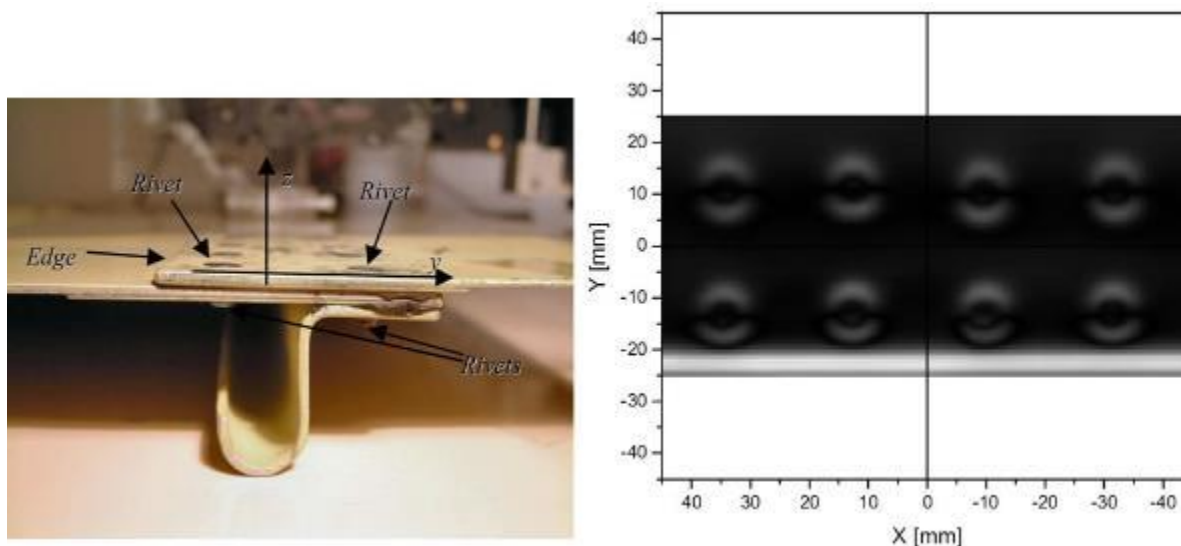
10.ábra Helikopter forgószárny lapát ép méhsejt-szerkezetéről alkotott kép [saját fotó]



11. ábra Helikopter forgószárny lapát deformálódott méhsejt-szerkezetéről alkotott kép [saját fotó]

4.2. Anyagfolytonossági hiány többrétegű, szegecselt szerkezetekben

Legtöbb olyan esetben, ahol többrétegű, szegecselt szerkezeteket (12.a. ábra) vizsgálunk, az elsődleges probléma nem a közvetlenül, vizuálisan is tanulmányozható felső, vagy külső borítás szegecsei körüli repedések meghatározása, hanem a belsőbb rétegek integritásának vizsgálata. A detektáláshoz szükséges behatolási mélység elérése érdekében csökkenteni kell a behatolási hullám frekvenciáját. A változtatás eredményeképpen jól láthatóak az alsó lemezben elhelyezkedő szegecscek. (12.b. ábra) [6]



12. ábra Többrétegű szegecselt repülőgép alkatrész és a róla alkotott kép [6]

4.3. A forgószárny lapát borításragasztás állapotának hagyományos módszerrel történő ellenőrzése

A hazai, orosz gyártmányú katonai helikopterek forgószárny lapátjai állapotellenőrzésére vonatkozó üzemeltetési utasítás, mind a mai napig, egy meglehetősen elavult vizsgálati technológiát ír elő. A gyakorlat az bizonyítja, hogy az előzőekben felvázolt korszerű méhsejt konstrukció szerkezeti deformáció kimutatási képesség megléte ellenére, a kevésbé pontos és egyáltalán

nem képes módszer is megfelelően szolgálja az üzemképesség elvárt szintű biztosítását. Évtizedek óta nem történt repülő esemény, katasztrófa forgószárny lapát, vagy farok-légcsavar lapátok ragasztott kötéseinek hibájából. Viszont az is igaz, hogy ez a módszer a lapátok állapot szerinti üzemeltetését, vagy éppen az esetlegesen szükséges üzemidő hosszabbítását nem támogatja. Ezért (is) megállapítható, hogy az előző fejezetben leírtaknak van inkább létjogosultsága. Ez pedig már az üzemeltetés gazdaságosabbá tételéhez tartozó kijelentés. A lapátok ellenőrzése természetesen kellően képzett és megfelelően nagy gyakorlattal rendelkező repülőgép szerelőt, vagy technikust kíván – és erre a munkát szervező vezetőknek nagyon is figyelniük kell – mivel a lapátborítás és a méhsejt töltőanyag ragasztása állapotának megítélése, a meghibásodások peremei tartományában, nagymértékben szubjektív (13. ábra).

A hagyományos, kopogtatós módszer esetében egy, a felválás határvonalának meghatározása ± 5 mm pontossággal valósul meg a szakemberek saját bevallása szerint. Tehát egy névleg 50 mm átmérőjű borításfelválásnál, a sérült terület $A_{\text{sérült}} = 1962,5 \text{ mm}^2$ nagyságú. A fenti bizonytalanság alapján ezt az ellenőrzés meghatározhatja $A'_{\text{sérült}} = 1589,625 \text{ mm}^2$ -nek is, vagy $A_{\text{sérült}} = 2374,625 \text{ mm}^2$ -nek is. Mint az látható, számottevő eltérések jöhetnek létre a valóságos hibaméret és a mért érték között. A riadalom elkerülésére itt leszögezhető, hogy a lapátokra megengedett hibaméret a fenti példában láthatónál jóval nagyobbak,

- a lapátvég felé eső utolsó 6 szekcióban 150 cm^2 ;
- az ettől beljebb lévő szekciókban 200 cm^2 ;

a borítás és a méhsejt töltőanyag elvállásának megengedett maximális összterülete, a lapátok egy-egy oldalára vonatkoztatva.



13. ábra Egy lapátsérülés külső lenyomata [saját fotó]

A lapátok gyártóinál is javult a ragasztási technológia megbízhatósága, napjainkban szinte kizárólag a forgószárnylapát szele által felkapott, és a lapát borításának csapódó valamilyen szilárd test (apró kavics, jég darabka) okoz lokális ragasztási sérülést (lásd 14. és 16. ábra).



14. ábra Sérült és ép részeket is tartalmazó méhsejt szerkezet [saját fotó]

A lapát borítás ragasztásának ellenőrzése meglehetősen egyszerű. Kopogtatós eljárásnak nevezik, és eszköze egy kisméretű, 10–15 g tömegű textolit kalapács (15. ábra). Természetesen a vizsgálatot megelőzően a lapát felületeinek előkészítéséről gondoskodni kell. Csak tiszta és száraz felületeken végezhető el az ellenőrzés. A vizsgálatot végző repülőgép szerelő egy profi zenész képességeit is birtokolja. Az eredményesség, a siker kulcsa: könnyű kéz és abszolút hallás, na meg megfelelő fizikai erőnlét! A lapát borítás és méhsejt töltőanyag ragasztott kapcsolatának minőségét ugyanis úgy kell elvégezni, hogy:

- a textolit kalapács kb. (az ellenőrzött felülettől számított) 10–15 mm magasságból való szabad leejtésével kell a kopogtatást elvégezni;
- enyhe ütések alkalmazásával a kalapács felemelési magassága nem haladhatja meg a 10 mm-t,
- a lapát főtartója és a hátsó hosszmerítőtől számított 25 mm-es távolságon kívül eső tartományban a lapát teljes felületét végig kell kopogtatni alul és fölül egyaránt;
- a kopogtatást úgy kell elvégezni, hogy a lapát borításán nem keletkezhet ütésgépi nyom.



15. ábra A lapátsérülés ellenőrző készlet, benne a kopogtató kalapácsok [saját fotó]

A ragasztott szerkezet ellenőrzése során az egyetlen hibajelzés a „kalapácsütés” hatására keletkező hanghatás megváltozásából adódik, tehát a hiba-indikáció e módszernél is közvetett. A

problémás hely kiterjedésének, az ép és sérült rész határvonalának eltalálása pedig, - mint már utaltunk rá - eléggé szubjektív. Példaként a 16. ábrán látható benyomódást szolgál, ahol érzékelhető a külső szemlélőnek is, hogy mennyire nem éles egy sérülés határvonala.



16. ábra Egy sérülés helye a borítás oldaláról észlelve [saját fotó]

Amennyiben a feltárt borítás-felválás mértéke eléri a 150 cm², illetve 200 cm²-es méretet, a hatályos üzemeltetési utasítás, a jelenleg rendszeresített orosz/szovjet gyártmányú helikopter esetében nem lapátcserét, hanem minden repülési nap után ellenőrzést írt elő.

5. KONKLÚZIÓ

A bemutatott mérőszonda alkalmazásával, a katonai légijárművek üzemeltetése során kialakuló anyagfolytonossági hiányok elhelyezkedéséről, esetleges térbeli kiterjedéséről is nyerhető információ. Ennek gyakorlati jelentősége akkor jelentkezik igazán, amikor kritikus elhelyezkedésű, vagy méretű hibahelyeket kell megkülönböztetni, a biztonság számára irreleváns egyéb anyaghibáktól, illetve a konstrukciós elemek hatásaitól. A légijárművek hadrafoghatóságának biztosításához magas szintű kiképzettséggel, gyakorlattal és felszereltséggel rendelkező szakemberek közreműködése szükségesek.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] G. Vértesy, A. Gasparics, J. Szöllösy, "High sensitivity magnetic field sensor" *Sensors and Actuators*, 85 (2000) pp. 202–208
- [2] Vértesy Gábor Gasparics Antal Pávó József "Elektromágneses roncsolásmentes anyagvizsgálat nagy érzékenységű mágneses-tér-mérő szenzor alkalmazásával" http://www.anyagvizsgaloklapja.hu/avl/cikkek/05_02_Vertesey_Gasparics_Pavo.pdf
- [3] Dr. Tóth L. Serge C. : Roncsolásmentes vizsgálati módszerek, Miskolci Egyetem, Miskolc, 1999. <http://www.muszeroldal.hu/assistance/roncsolasmentesvizsgalatok.pdf>
- [4] Gasparics Antal: FLUXET SENZORRA ÉPÜLŐ ELEKTROMÁGNESES RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATI MÓDSZER Doktori (PhD) értekezés Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem 2005. 46. oldal
- [5] Bozóki János: Légijárművek harci sérüléseinek roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárásai. *Repüléstudományi Közlemények XXI. évf. 3. szám (2009)*, 8. oldal
- [6] Dr. Antal Gasparics, Dr. Gábor Vértesy, Péter Barna, Tibor Farkas and János Szöllösy SUPPRESSING EFFECTS IN NDT BY THE HELP OF MAGNETIC IMAGING
- [7] Óvári Gyula: Helikopter-szerkezettan I. KGYRMF Szolnok 1986
- [8] Óvári Gyula: Helikopter-szerkezettan II. KGYRMF Szolnok 1986
- [9] Szilvássy László A harci helikopterek fegyverrendszerének modernizációs lehetőségei a magyar honvédségben, MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, 2011. 35 p. *Elektronikus Műszaki Füzetek; X.*) (ISBN:978-963-7064-26-5)

- [10] Varga Béla Helikopter gázturbinás hajtóművek optimális nyomásviszonyai a turbina előtti gázhőmérséklet és a gép-egység veszteségek függvényében SZOLNOKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK XVI: pp. 218-234. (2012)
- [11] Varga Béla: Specific net work or thermal cycle efficiency, one of the questions engineers must face designing helicopter turboshaft engines REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 2013/különszám: pp. 78-88. (2013)
-
-

**MEETING OF TRADITIONAL AND MODERN TEST TECHNOLOGIES
IN PRIORITY AERIA OF AIRCRAFT MAINTENANCE**

Since mid-1990s until these days, by applying fourth generation fighters in the Hungarian Defence Forces, modern operating and maintenance environment and systems have also been introduced demanding the fundamental need for appropriate Non Destructive Testing methods. End-users demand higher and more specific standards against NDT methods for more functions such as the ability to record and visualize the geometrical, - and dimensional location and the size of possible surface flaws. Mobility is a crucial factor for the use of NDT in Military environment. That is, tests could be performed in field conditions as well. This publication is aimed to provide an overview of how a certain eddy current test probe using high- resolution magnetic sensors can be applied for military aircraft maintenance. Using this test probe enables specialists to gain information on the actual extent and dimensions of the flaws in the material. The practical value of this kind of testing applies when it comes to tell the difference between a flaw - at a critical place or in a critical size - that badly affects the entire structure and one that is irrelevant to security measures.

Keywords: *fighter aircraft, helicopter, Nondestructive Test Methods to Aircraft Structure Elements, Eddy Current Test, high-resolution magnetic sensors, information on the actual extent and dimensions of the flaws in the material.*



http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2015_3/2015-3-15-0245-Bozoki_J-Kavas_L-Ovari_Gy.pdf