

Bozóki János¹

A MAGYAR HONVÉDSÉG LÉGIJÁRMŰVEI SÁRKÁNSZERKEZETEIN ALKALMAZOTT KOMPOZIT ANYAGOK ULTRAHANGOS ANYAGVIZSGÁLATI ELJÁRÁSSAL TÖRTÉNŐ ELLENŐRZÉSÉNEK MÓDSZEREI²

Mint köztudott a 90-es évek közepétől napjainkig a Magyar Honvédség légierijének kötelékében új, a kor technikai színvonalát képező repülőeszköz ált rendszerbe (JAS-39 EBS HU Gripen, MiG-29, harcászati repülőgépek). A harmadik és negyedik generációs repülőgépek megjelenésével korszerű üzemeltetési és diagnosztikai rendszerek kerültek bevezetésre, melyek meghatározó eleme a kompozitból készült sárkány szerkezeti elemek roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerei. A modern repülőtechnika építése során egyre nagyobb arányban alkalmaznak új, korszerű szerkezeti anyagokat. Jelen publikáció rövid áttekintést ad a összetett anyagokból készült sárkány szerkezeti elemek hadműveleti viszonyok között is alkalmazható ultrahangos roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereiről.

ULTRASONIC AND NON DESTRUCTIVE MATERIAL TESTING METHODS TO EXAMINE COMPOSITE MATERIALS USED ON THE AIRFRAMES OF THE AIRCRAFT DEPLOYED AT THE HUNGARIAN DEFENCE FORCES

As it is well- know, some new and hi-tech fighter aircraft (JAS-39 EBS HU Gripen, MiG-29) have been introduced and deployed at the Hungarian Air Force since the middle of the 1990s and this tendency is still ongoing. With the third and fourth generation fighters new, modern testing methods have also been introduced mainly focusing on Non Destructive Material testing techniques of the composite parts of the airframe. The use of composite material on modern fighters has become more and more widespread. This publication of mine is to provide an array of Non Destructive Material Testing methods that can also be used during operational circumstances.

1. BEVEZETÉS

Korunk nemzetközi biztonságpolitikai változásaival összhangban a magyar fegyveres erők is folyamatos változáson mentek keresztül. A Magyar Honvédség tömeghadsereg jellege átalakult egy modern azonnal bevetethető haderővé. A Magyar Honvédség aktív résztvevője a NATO³ műveleteknek ezért mindenképpen meg kell vizsgálni milyen feladatokat hajtanak végre légijárműveink és a Magyarország nemzetközi felajánlásainak figyelembevételével milyen alkalmazásokban vesznek részt a közeljövőben. Mint köztudott a 90-es évek közepétől napjainkig a Magyar Honvédség kötelékében számos, új a kor technikai színvonalát képező technikai eszköz ált rendszerbe. (JAS-39 EBS HU Gripen, MiG-29 vadászipülőgépek) Természetesen e harci technikai eszközök sárkány szerkezeti elemei a hagyományos anyagok mellett egyre nagyobb arányban különleges kompozit anyagokból készülnek. A harmadik és negyedik generációs repülőgépek megjelenésével modern üzemeltetési és diagnosztikai rendszerek kerültek bevezetésre. Az üzemeltetett diagnosztikai rendszer egyik speciális eleme a roncsolásmentes

¹okl. mk. ezredes, Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem parancsnoka, bozoki@fibermail.hu

² Lektorálta: Dr. Kavas László okl. mk. alez. alezredes, egyetemi docens, Nemzeti Közszoigalati Egyetem Katonai Repülő Tanszék, kavas.laszlo@uni-nke.hu

³ NATO= Észak-atlanti Szerződés Szervezete

anyagvizsgálat. A mértékadó szakirodalmak alapján határozom meg a légijárművek kompozitból készült sárkány szerkezeti elemeinek roncsolásmentes anyagvizsgálati módszereit, melyek akár harci körülmények között is alkalmazhatóak. A kompozitból készült szerkezeti elemek roncsolásmentes anyagvizsgálatának elengedhetetlen feltétele hogy minél több információval rendelkezünk az adott alkatrész gyártási módjáról, anyag összetételéről, funkciójáról.

2. A KOMPOZIT

2. 1. A kompozit fogalmi meghatározása

A kompozitok olyan összetett anyagok, amelyek két vagy több különböző szerkezetű, méretekben elkülönülő anyag kombinációkból épülnek fel a hasznos tulajdonságok kiemelése és a káros tulajdonságok csökkentése céljából. Az egyik alkotó folytonos ez a beágyazó, amely körülveszi az erősítő fázist (pl. szál). Az alkotók kémiai összetétele és legtöbbször alakja is különbözik. A kompozitokkal olyan tulajdonságok vagy tulajdonság kombinációk valósíthatók meg, melyek az alkotókkal külön-külön nem hozhatók létre. A legtöbbször a mechanikai tulajdonságok javítása a cél, valamint az igényeknek megfelelően szabályozható a szilárdság, a képlékenység és a korrózióállóság. [1]

2. 2. A kompozit csoportosítása

A kompozitok mechanizmusa bonyolult, a kompozit számos tulajdonsága általában nem vezethető vissza egyszerűen a mátrix, illetve a szál mechanikai tulajdonságaiból. Szálerősítésű kompozitok esetén például anyag szilárdsági és szerkezeti tulajdonságai irányonként eltérőek lehetnek. [2]

A kompozitokat többféle szempont szerint csoportosíthatjuk.

a. mátrix anyaga szerint: [5]

- polymer mátrixú;
- fém mátrixú;
- kerámia mátrixú;
- szén mátrixú;
- üveg mátrixú.

A mátrix anyaga nagymértékben meghatározza a felhasználás maximális hőmérsékletét.[4]

b. erősítőszálak anyaga szerint: [5]

- szénszálak, grafitaszálak;
- üvegszálak;
- aromás poliamidszálak (Aramid, Kevlar, Nomex, stb.);
- bórszálak;
- kerámiaszálak (kvarc, alumínium-oxid, alumínium-szilícium bór-szilícium, szilícium-karbid).

Az erősítőanyagok, a kompozitok fő alkotóelemét képezik, amelyek a szerkezet merevségét és mechanikai szilárdságát biztosítják. [4]

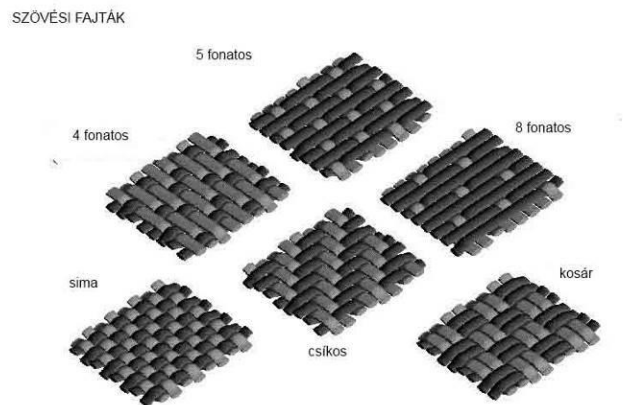
c. komponensek morfológiája szerint: [13]

- szemcsés;
- szálas;
- lemezes vagy réteges;
- felületi réteges.

2. 3. Kompozitok gyártási módjai

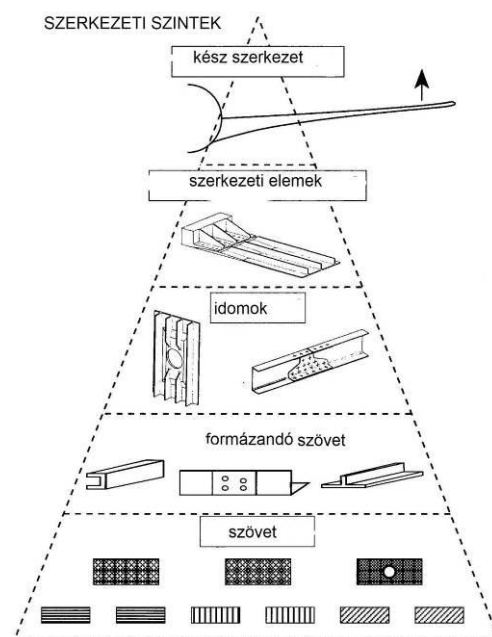
A katonai légi járművek kompozit szerkezeteinek gyártásához előimpregnált, karbon és szén-szál aszöveteket alkalmaznak, mivel ezek használata sokkal egyszerűbb és gyorsabb, mint a gyártás közbeni impregnálást igénylő szálanyagoké.[4]

Az 1-es ábra a szálanyagból szőtt szövetkialakításokat mutatja be. Az előimpregnált szálanyag vagy szövet egyszerűen kezelhető, könnyen vágható, alakítható.



1. ábra Szálanyagból szőtt szövetkialakítások. [3]

A 2. ábra. nagy bonyolultságú, igen sok rétegből álló kompozit alkatrészek előállításának munkafolyamatát szemlélteti.

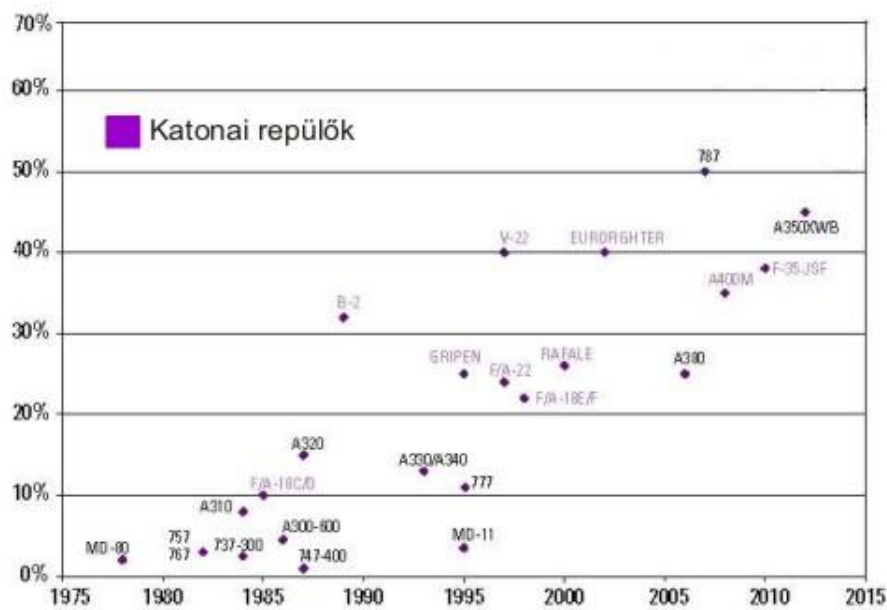


2. ábra Kompozitból készített szerkezetek gyártásának főbb lépései [3]

3. KOMPOZITOK ALKALMAZÁSA A REPÜLŐGÉPEK ÉPÍTÉSÉBEN

Mint ahogy a bevezetőben említettem, a modern repülőtechnika gyártása során egyre nagyobb arányban alkalmaznak kompozit szerkezeti anyagokat. A napjainkban elterjedő kompozit anyagok nagy előnye a hagyományos duralumínium vagy acél szerkezeti anyagokkal szemben nem csak a kisebb súly mellett megvalósítható nagyobb szerkezeti szilárdság, hanem a szerkezet nagyobb merevsége, kifáradásra való érzéktelensége is. A nagyobb merevség hatására a felületek lövedék vagy repesz találat hatására sokkal kisebb mértékben deformálódnak, kisebb marad a roncsolt zóna, kevesebb a sérült berendezés. [11]

A napjainkban rendszerben lévő és rendszerbe állításra tervezett repülőgépek sárkány szerkezeti tömegének egyre nagyobb százalékát teszik ki a kompozitból készült szerkezeti elemek. A 3. ábra jól szemlélteti a fejlesztések tendenciáját.

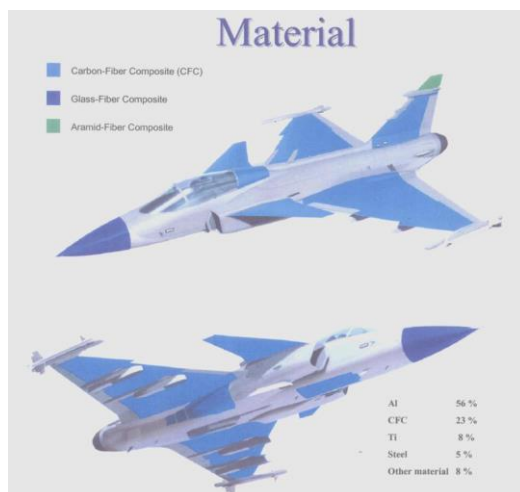


3. ábra Repülőgépek sárkányszerkezet építéséhez alkalmazott kompozit anyagok tömegszázalékának változása [12]

A konkrét típusok leírásaiból megállapítható, hogy főleg sárkány szerkezeti elemek építéséhez alkalmaznak a gyártó vállalatok kompozit anyagokat. A Magyar Honvédségben rendszerített JAS-39 EBS HU Gripen repülőgép sárkányszerkezetében alkalmazott anyagok között megtaláljuk a legkorszerűbb szénszálas, üveg és aramid szálas kompozit anyagokat is, amelyek a sárkányszerkezet 25%-át alkotják, az alumínium ötvözetek részaránya 56%, a titáné 6%, míg az egyéb fémeké 5%. [6]

Az 4. ábra a JAS-39 EBS HU Gripen repülőgép sárkány szerkezetén a kompozit anyag elhelyezkedését és a sárkányszerkezet tömegszázalékos arányait mutatja be. [6]

Mindezek figyelembe vételével megállapíthatom, hogy az üzemeltetés során (különös tekintettel a harci körülmények között) egyre nagyobb szerepet kap a kompozit szerkezeti anyagok diagnosztikai vizsgálata mechanikai tulajdonságainak ismerete és a javítási karbantartási metodikák kidolgozása.



4. ábra JAS-39 EBS HU Gripen repülőgépen a kompozit anyag elhelyezkedése és a sárkányszerkezet tömegszázalékos aránya.

Carbon-Fiber Composit (CFRP) = Szénszálas kompozit anyag;

Glass-Fiber Composit (GFRP) = Üvegszálas kompozit anyag;

Aramid- Fiber Composit (AFRP) = Aramidszálas kompozit anyag;

4. A KOMPOZITOKRA JELLEMZŐ FOLYTONOSSÁGI HIÁNYOK

4. 1. Normál üzemeltetés során keletkező folytonossági hiányok

A gyártó cég a repülőeszköz tervezése során kidolgozza a követendő diagnosztikai eljárásokat. A repülőgépek műszaki kiszolgálási utasításában ezen információ az üzemeltető állománya rendelkezésére áll.

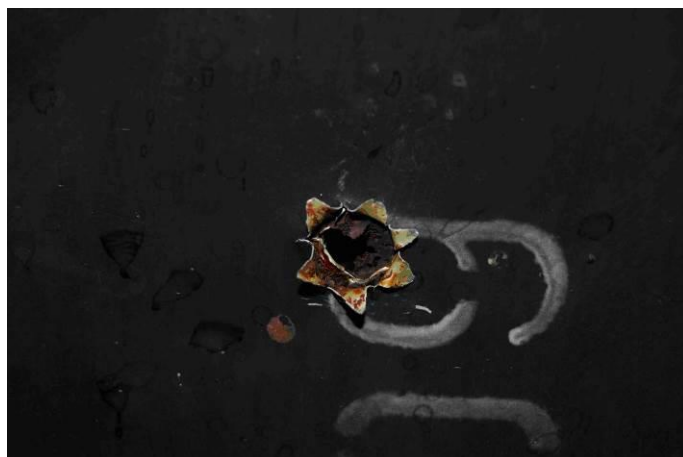
4. 2. „Extrém” üzemeltetési viszonyok között előforduló sérülések

A repülőtechnika az élettartama alatt igen sokszor üzemelhet szélsőséges körülmények között. A légijármű gyártója ezen esetekre is dolgoz ki megfelelő eljárásokat, amelyek speciális képzések keretében elsajátíthatóak. Természetesen nemcsak az időjárás és a klimatikus viszonyok szélsőségeire kell számítanunk, hanem szinte bármely normál üzemeltetési körülménytől eltérő eseményre, amelyek lehetnek:

- rövid időtartamú események következtében bekövetkező folytonossági hiányok (például: pillanatnyi túlterhelés, idegen tárgy, lövedék becsapódása stb.);
- hosszú időtartamú események következtében bekövetkező folytonossági hiányok (például anyagfáradás korrózió stb.).

4. 2. 1. Rövid időtartamú események következtében bekövetkező folytonossági hiányok

A rövid időtartamú események bekövetkezése esetén a szerkezetet extrém behatások érik, amelyek hirtelen károsodást eredményeznek. Fémépítésű szerkezeti elemeket érő lövedék találat esetén jól megfigyelhető az „exit effektus” amikor a be és a kilépő felületeken a sérülés jellege és hatása teljesen más és jól elkülöníthető (5. és 6. ábrák). A fémből készült szerkezeti elemek e tulajdonsága nagymértékben meghatározza a javítás módját és a sérülés szükség szerinti behatárolásához a vizsgálati technológiát.



5. ábra Kimeneti sérülés lövedék találat esetén. [14]



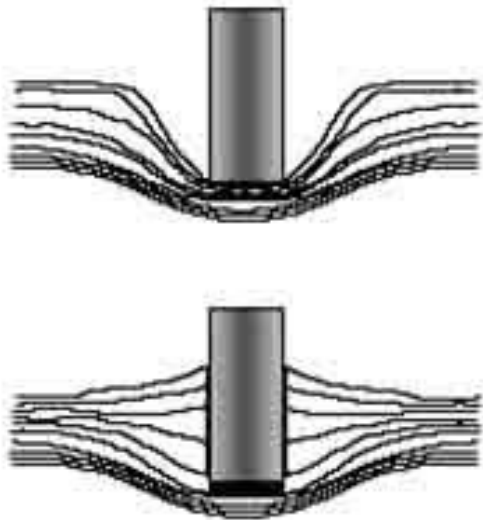
6. ábra bemeneti sérülés lövedék találat esetén [14]

A kompozitból készített alkatrészek szerkezeti kialakításuk és mechanikai tulajdonságaik végett viszont teljesen más módon reagálnak a terhelésekre. Igen fontos anyagi jellemző a roncsolódás szempontjából az ún. exit-effektus vagy egyszerűen a kilépő hatás. Egy kompozit lemezt ért találat hatására keletkező roncsolódás mértéke akkora, mint a lövedék keresztmetszeti mérete és a kiterjedtség alakja is megegyezik a lövedék geometriájával, gyakorlatilag nincs kilépő hatás. (7. ábra)

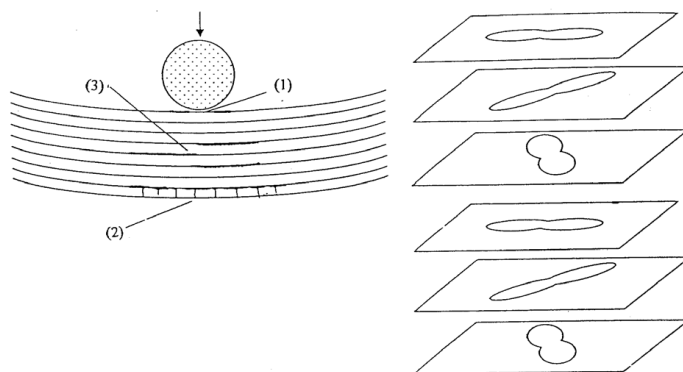


7. ábra Elemi szálak szakadása idegen tárgy behatására [9]

A találati hely azonban gyakran a kiterjedtségtől függetlenül is eldöntheti egy gép további légi alkalmasságát (pl. egy bekötési csomópont találata esetén). A kompozit szerkezeti elemeket érő erők hatását az elemi szálak veszik fel és a mátrix anyag nyeli el. Az elemi szálakból kialakított rétegek egymástól elválva (8. ábra) szélsőséges esetben szétszakadva eredményezik a szerkezetben létrejövő folytonossági hiányokat (9. ábra).



8. ábra lövedék áthatolása szövet szerkezeten [9]

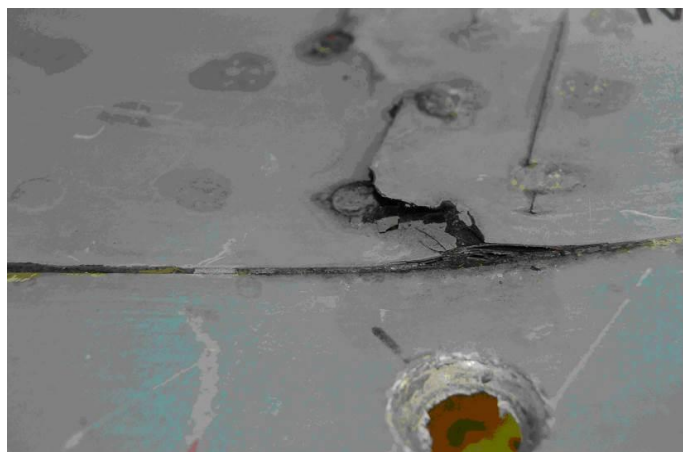


9. ábra Idegen tárgy becsapódása által létrejövő rétegenkénti delamináció [8]

1= benyomódás; 2=húzás hatására létrejövő hiba;

3=nyírásból eredő rétegfelválás az érintkező felületek között

A sérülések általában nehezen tipizálhatóak egyértelműen, együttesen jelentkeznek rétegfelválások és szálszakadások. A törött és felvált rétegek váltakozása a jellemző. A 10. ábrán látható sérülésen vizuálisan is hasonló jeleket tapasztalhatunk.



10. ábra Kompozit szerkezeti elem sérülése [14]

4. 2. 2. Hosszú időtartamú események következtében kialakuló folytonossági hiányok

A sárkányszerkezet élettartamát a véletlenszerű sérülések, a terhelésekből származó anyagfáradások és korróziós folyamatok határozzák meg. A maximális élettartam elérését az üzemeltetési és üzembentartási előírások teszik lehetővé. Természetesen a repülőgépek tervezése során számos extrém üzemeltetési és terhelési körülményt vesznek figyelembe a üzembentartó mérnökök. A tervezettnél fokozottabb igénybevételek között kell megemlíteni, kedvezőtlen üzemeltetési és tárolási, feltételeket és e tényezők negatív hatásait. A kedvezőtlen klimatikus körülmények esetén a szabadtéri tárolás következtében korróziós folyamatok jöhetnek létre a repülőgépek sárkány szerkezeteiben. [10]

Az előző fejezetek alapján belátható hogy teljesen kompozitból készült repülőgép napjainkban nincs rendszeresítve. A repülőgépeken elkerülhetetlen, hogy a kompozit ne érintkezzék a klasszikus fémszerkezeti elemekkel. Az elektromosan vezető kompozitok érintkezése fémekkel, a fém erőteljes korrózióját idézheti elő. A korróziónak ezt a típusát a szakirodalom galván korróziónak vagy kontakt korróziónak nevezi.

5. KONTAKT KORRÓZIÓ

Fémek kontakt korróziója a fémszerkezetnek a felületről kiinduló tönkremeneteli folyamata. A fém oxidációján alapszik. Szükséges ehhez egy második, elektromosan vezető anyag jelenléte, amelynek standardpotenciálja pozitívabb korrodálódó féménél. Az galván korrózió egy elektrokémiai korróziós cella (egy korróziós elem, ill. helyi elem) anódján történik és csak egyes elektrolitok (pl. nedvességfilm) jelenlétében következhet be. A fémek feszültségi sora a legnegatívabb potenciálú céziumtól csökkenő negativitással a legpozitívabb potenciálú aranyig terjed. A 1. táblázatban a repülőgép építésben alkalmazott anyagok potenciál sora látható. [5]

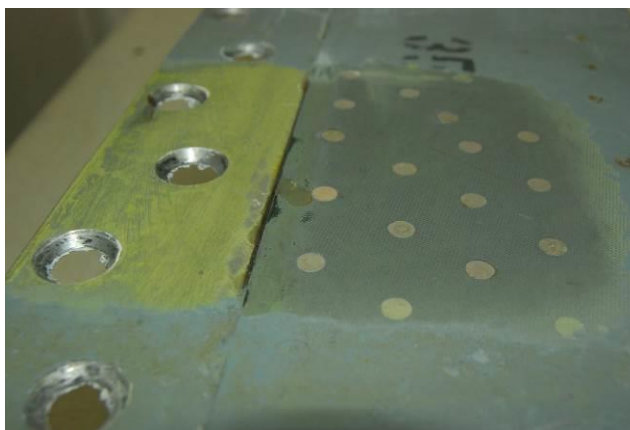
ANÓD
Magnézium ötvözetek
Alumínium ötvözetek
Alumínium
Cadmium
Acél és vas
Réz és bronz ötvözetek
Rozsdamentes és hőálló acél
Titán
Nikkel és nikkel ötvözetek
Grafit kompozitok
KATÓD

1. táblázat A repülőgép építésben alkalmazott anyagok potenciál sora [5]

Jól példázza ezen állításomat az 4. ábra ahol a sárkány szerkezet 23%-a szénszálak kompozitból készült. Az elektromosan vezető grafit-szálak kompozitok érintkezése fémekkel, a fém erőteljes korrózióját idézheti elő. Ennek oka a grafit és alumínium vagy kadmiumozott acél közötti igen nagy potenciálkülönbség. A gyakorlatilag a kompozit és a fémszerkezeti elemek összeépítésének közelében a fémszerkezeti elem elfogy és elveszíti szilárdsági jellemzőit. [5]

A kontakt korrózió a megfelelő anyagpárosítással illetve elektromos elszigeteléssel megelőzhető. Ugyancsak a kontakt korrózió indokolja, hogy grafit-szövetbe csak korrózióálló anyagból készült kötőelemet szabad beépíteni. Ilyen korrózióálló anyag a titán és a rozsdamentes acél. [8]

A 11. ábrán alumínium és szénszálak kompozit szerkezeti elemek összeépítését láthatjuk.

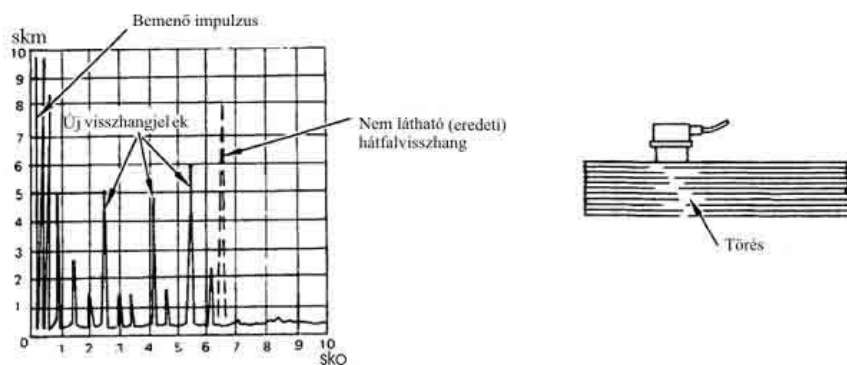


11. ábra alumínium és szénszálak kompozit szerkezeti elemek összeépítése [14]

6. ULTRAHANGOS RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLAT (UT)⁴

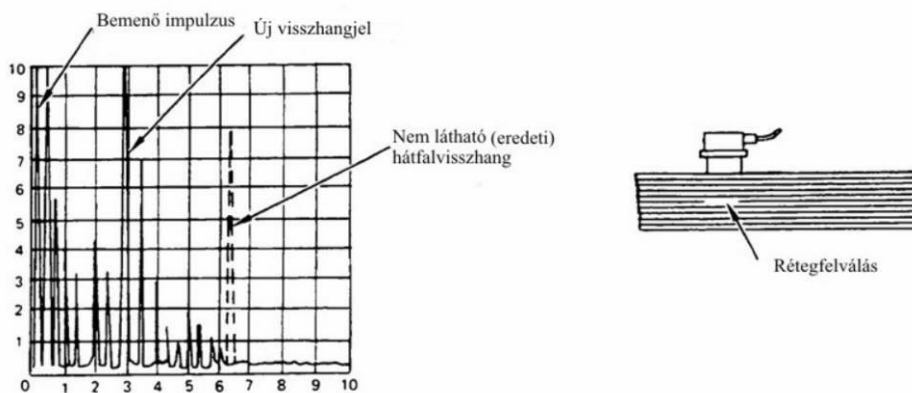
Az idegen tárgy vagy lövedék, becsapódás által létrejövő károsodások (törött és felvált rétegek váltakozása) detektálására, behatárolására és a javítást követő visszaellenőrzésre több különböző roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárás létezik, amelyek teljesítőképessége, alkalmazhatósága eltérő. Meghatározott feladatra a legjobban megfelelő roncsolásmentes vizsgálati eljárás vagy ezek kombinációinak megválasztásakor mindig a megoldandó feladat tisztázásából kell kiindulni. A roncsolásmentes anyagvizsgálati metodika nagymértékben függ a vizsgálati tárgyakban várható hibaféleségek típusától, azok méretétől, irányítottságától, a keresett folytonossági hiány pozíciójától, felületi, mélységi helyzetétől. A gyakorlati tapasztalataim és a mértékadó szakirodalom alapján az ultrahangos roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek alkalmasak rövid és hosszú időtartamú események következtében bekövetkező folytonossági hiányok vizsgálatára akár harcéri viszonyok között is, ahol az üzemeltetés feltételei igen szélsőségesek lehetnek. Az ultrahangos roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer lényege hogy nagyfrekvenciás hangimpulzust vezetünk az ellenőrizendő alkatrészbe, és a visszavert jelekből lehet megállapítani az anyagban előforduló folytonossági hiányokat. [2]

Nagyfokú érzékenységgel alkalmazható a felületi, a felület alatti és a belső meghibásodások vizsgálatakor. A 12. és a 13-as ábrákon, a kompozit alkatrészen található folytonossági hiány detektálásának elvi vázlata látható.



12. ábra Törés detektálásának elvi vázlata [7]

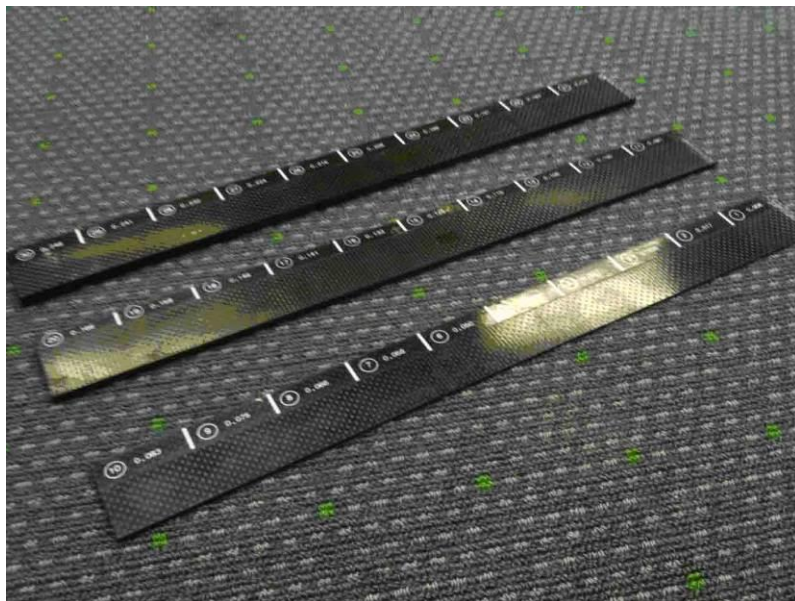
skm = skála magasság, sko = skálaosztás



13. ábra Rétegfelválás detektálásának elvi vázlata [7]

⁴UT = Ultrasonic Testing = ultrahangos anyagvizsgálat

Az ultrahangos roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer sikeres alkalmazásának előfeltételeihez etalonok és vizsgáló fejek szükségesek. A vizsgálandó szerkezeti elem geometriai paraméterének ismeretében választhatjuk ki az etalonon a megfelelő vastagságot, amely segítségével az ultrahangos roncsolásmentes anyagvizsgálat végrehajtható. A 14. ábrán látható etalonok segítségével állíthatjuk be a vizsgáló egység geometriai és érzékenységi paramétereit.



14. ábra Kompozit etalonok [14]

A 15. ábrán alkatrész vizsgálatokhoz alkalmazható ultrahangos vizsgálófejek láthatóak.



15. ábra Ultrahangos vizsgálófejek. [14]

A megfelelő kalibrációk elvégzését követően a vizsgálat viszonylag gyorsan és megbízhatóan végrehajtható. A vizsgáló készülék kijelzőjén az eredmény dokumentálásához és a későbbi rekonstrukcióhoz szükséges paraméterek leolvashatóak. 16. ábrán egy alkatrész hátfaláról visszavert visszhangjel látható USM-25 ultrahangos anyagvizsgáló készülék monitorján.



16. ábra USM-25 ultrahangos anyagvizsgáló készülék monitora. [14]

Előre nem tervezhető meghibásodás, sérülés, illetve bonyolult alkatrészek vizsgálatához vizsgálati technológia kidolgozása szükséges, az esetlege téves eredmények elkerülése végett. A vizsgálandó alkatrész ki és visszaépítése a repülőgéphez időt és energiát emészt fel, ami a körültekintően elkészített vizsgálati módszer segítségével megtakarítható.



17. ábra Alumínium és szén-szál kompozit szerkezeti elem összeépítése. [14]

A 17. ábrán alumínium és szén-szál kompozit szerkezeti elem összeépítésénél fellépő kontakt korrózió látható. A folytonossági hiány a kompozit szerkezeti elem ultrahangos roncsolásmentes vizsgálatával nem detektálható. Egyedüli célravezető vizsgálati módszer az alumíniumból készült alkatrész ultrahangos roncsolásmentes vizsgálata. A Magyar Honvédség rendszeresített eszközeivel és a rendelkezésre álló technológiai utasítások felhasználásával az ellenőrzés végrehajtható.

ÖSSZEGEZÉS

Cikkemben bemutatok egy roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárást, amely akár szélsőséges üzemeltetési viszonyok esetén (hadműveleti területen) is alkalmazható. Természetesen bármely haditechnikai eszköz műszaki kiszolgálása igen bonyolult komoly szakmai felkészülést igénylő feladat. A Magyar Honvédség kötelékében rendszeresített XXI. század technikai színvonalát képező negyedik generációs repülőgépek üzemeltetése megköveteli, úgynevezett „specialisták” alkalmazását. Az új rendszerek, technológiák anyagok, kihívásokat jelentenek az üzemeltetésben résztvevők számára. A szükséges technológiai utasítások kidolgozása és szakemberek kiképzése elengedhetetlen a légijárműveink hadrafoghatóságának a biztosításához. A üzemeltető mérnökök a szükséges jogosításokat, a gyártó által minősített tanfolyamokon lehet megszerezni. Ugyancsak egyértelmű, hogy a speciális szakállomány létszámának bármilyen mértékű növelésével sem lehet felkészülni minden szituációra. A megoldást a magas szintű képzettséggel, gyakorlattal és felszereltséggel rendelkező komplex egységek létrehozása biztosíthatja.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Military Handbook Nondestructive Active Testing Techniques For Structural Composites Mil-Hdbk-793 (Ar) 6 November 1989 P. 1-1;P. 1-2 [Http://Www.Everyspec.Com](http://Www.Everyspec.Com) On (2012.09.12 T05:54.)
- [2] Military Standartization Handbook Nondestructive Testing Methods Of Composite Materials Ultrasonics Mil-Hdbk-787 1 April 1988 P. 4 [Http://Www.Everyspec.Com](http://Www.Everyspec.Com) On (2012.09.12 T 00:23.)
- [3] Department Of Defense Handbook Composite Materials Handbook Volume 5. Ceramic Matrix Composites Mil-Hdbk-17-5 Volume 5 Of 5 17 June 2002 P. 94; P. 120 [Http://Www.Everyspec.Com](http://Www.Everyspec.Com) On (2011.02.22 T17:54.)
- [4] Military Handbook Plastic Matrix Composites With Continuous Fiber Reinforcement Mil-Hdbk-754 (Ar) 19 September 1991 [Http://Www.Everyspec.Com](http://Www.Everyspec.Com) On (2012-09-12 T 07:15.) P. 1-2, P. 7-1; P. 7-4;
- [5] Composite Airframes Structures Michael Chun-Young Niu Isbn 962-7128-06-6. P. 43; P. 380; P. 541
- [6] Gripen Familiarisation Course Jas 39ebs Hu Mg31 Structures
- [7] Nondestructivetest Manual Boeing Document D6-37239 December 5/03 Part1 P. 22 Part4 P. 8
- [8] Impact On Composite Structures G. A. O. Davies And R. Olsson Department Of Aeronautics, Imperial College, London, Uk The Aeronautical Journal November 2004 P.541
- [9] HASAN BASRI KOCER Laminated And Hybrid Soft Armor System For Ballistic Applications Auburn University , Alabama December 17, 2007 Master Of Science, December 17, 2007 P. 17, P. 66
- [10] BÉKÉSI Bertold: A Katonai Repülőgépek Üzemeltetésének, A Kiszolgálás Korszerűsítésének Kérdései, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Phd Értekezés, Budapest, 2006. P. 101
- [11] KAVAS László: Harcászati Repülőgép Kiválasztásának Módszere Gazdasági Hatékonysági Mutatók Alapján, Kis Létszámú Haderő Légierőjének Korszerűsítésére Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Phd Értekezés, Budapest, 2009. P. 21
- [12] TAYLOR, R. P. Fibre Composite Aircraft Capability And Safety Australian Transport Safety Bureau Isbn 978-1-921490-33-0 P.6
- [13] HÜTTE A Mérnöki Tudományok Kézikönyve Springer Hungarica Kiadó Kft Budapest 1993 P. D31
- [14] MH Légijármű Javítóüzem