

TERMO-DIAGNOSZTIKAI ELJÁRÁSOK LEHETŐSÉGEI REPÜLŐGÉPEK SÁRKÁNY, HAJTÓMŰ ÉS FEDÉLZETI RENDSZEREINEK VIZSGÁLATA SORÁN

BEVEZETÉS

A termo-diagnosztika az egészségügytől az épületek hő-háztartásának felméréséig már számos területen bizonyította hasznosságát. Az ipari létesítmények gépeinek, az energiaellátás kapcsoló-, átalakító berendezéseinek vizsgálatára alkalmazott termo-diagnosztikai eszközökből (megfelelő kiválasztással) felépíthető a repülőgépek üzemeltetésekor fellépő termodinamikai jellegzetességet értékelő és regisztráló mérőrendszer.

A repülőgépek „állapot szerinti” üzemeltetésekor – a sárkány-, hajtómű szerkezetek és a fedélzeti rendszerek alkalmaságának megítélése során – a szisztematikus hő-terhelés vizsgálat rendkívül hasznos eredményekkel szolgálhat.

A roncsolásmentes vizsgálatok [1,2] a légi járművek karbantartása, műszaki kiszolgálása során fontos szerepet töltenek be. A termo-diagnosztika, bár sok más területen egyre nagyobb teret kap, még nem tartozik a mindennapi gyakorlatba. Az építészet, villamos ipar, gépészet és különböző folyamat felügyeleti rendszerek hőterhelés vizsgálatait erre szakosodott cégek a feladatokhoz illesztett eszközökkel és technológiával végzik.[3] A vizsgált objektumok által kibocsátott/elnyelt hő képe alapján a gyakorlott szakemberek a működési rendellenességeket fel tudják térképezni és a megfelelő ellenintézkedés hatását is ellenőrizni tudják.

A légi járműveknél felmerülő üzemidő, karbantartás, sérülés-javítás utáni állapotok objektív megítélését segítheti a termo-diagnosztikai kutatások külföldi és hazai eredményeinek hasznosítása, mely utóbbihoz a ZMNE RLI tanszékein e témában folyó elméleti és kísérleti munkák is hozzájárulhatnak. Jelen írásműben a szerzők – számos külföldi K+F eredmény mellett a hazai termo-diagnosztikai vizsgálatok eszközrendszerét és eljárásait áttekintve – a légi járműveknél is alkalmazható megoldásokat keresik.

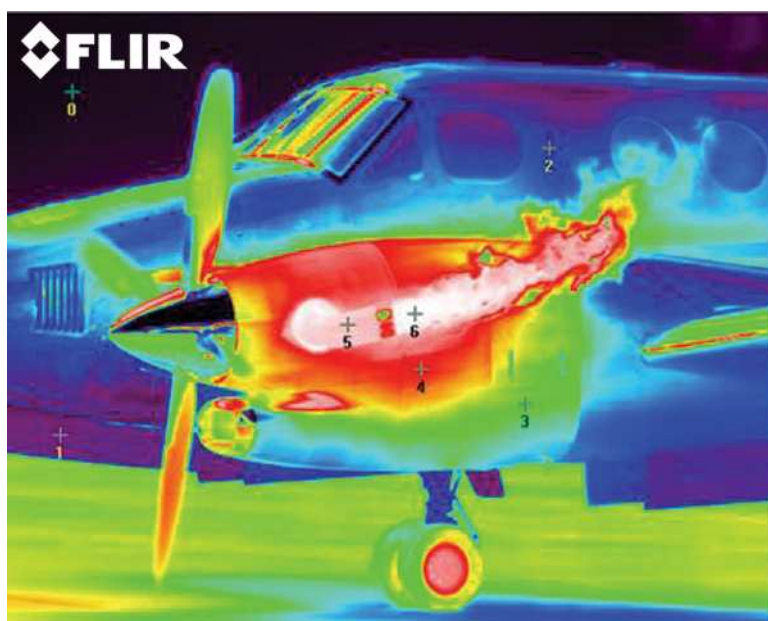
TERMO-DIAGNOSZTIKA

Minden fizikai test, amely az abszolút nulla Kelvin foknál melegebb, infravörös hullámokat bocsát ki magából, de az ember számára az infravörös tartomány – amely hullámhossza a látható fénynél

nagyobb – szemmel már nem látható. A hőt a tárgyak, a közeg érintésével a bőrünk segítségével tudjuk természetes úton érzékelni.

A hőkép megjelenítésére speciális segédeszközt, termo-kamerát kell igénybe vennünk, amely a látható fény tartományán kívüli hőhullámokat a szemünk által érzékelhető képpé alakítja. A „frekvencia-transzponálás” eredményeként a hőmérséklettel arányos fényességű pontok jelennek meg a érzékelőkre (Mikrobolométer) vetített hőkép nyomán.[4]

A termo-kamerák teljesítményének javítása mellett a hőképek létrehozására és kiértékelésére kifejlesztett célprogramok képezik a fejlesztések másik fő irányát. A szürke árnyalatú képet mesterségesen színezve az azonos hőmérsékletű, illetve az elkerülendő szélsőséges értékek már könnyen felfedezhetővé válnak.



1. kép. A FLIR (Forward Looking Infrared) a hajtómű saját hőjét mutatja¹

Mivel a termo-diagnosztika a vizsgált objektum alakján túl első sorban a tárgy felszínének hőmérsékletét „tapogatja le” ezért a pontonkénti felbontásnak (gradációnak) az alkalmazás szempontjából különös jelentősége van. Például az INDIGO OMEGA (új nevén A10 MICRON) [5] 120X160 pixelt tartalmaz (egy pixel 51X51 mikron méretű) és <40 mK (0,23°C) felbontást biztosít. Az A10 MICRON (11 és 30 mm-es lencsékkel) a ZMNE RLI kísérleti méréseiben is jelentős szerepet kap.

A termo-kamerák lencserendszere nem csak árában, tömegében is jelentős tétel (a germánium sűrűsége 5,32 g/cm³) ezért gyakran kedvezőbb a nagytömegű (emellett rendkívül drága) zoom objektív helyett a több fix fókuszú lencsékkel szerelt kamera.

¹ <http://fai.org.ru/index.php?showtopic=16476&pid=239661&mode=threaded&start=>



2. kép. Az A10 MICRON 11, 18 és 30 mm-es fókusz távolságú germánium lencsái²

A „klasszikus” termográfia a testek saját kisugárzott hőjét érzékeli. A termo-diagnosztika ezen túl is keres anyagra, konstrukcióra, pillanatnyi állapotra jellemző tulajdonságokat. A vizsgálatok gyakran szabad térben, vagy nehezen befolyásolható zárt környezetben folynak, amelyek zavaró hatását a mérő rendszernek, illetve a mérési eljárásnak kell a lehető legkisebb értékre szorítani. A továbbiakban a „dinamikus termográfia” megvalósításának lehetőségeit tekintjük át, mely az anyagok különböző típusú gerjesztések hatására adott termikus válaszát kutatja.

DINAMIKUS TERMOGRÁFIA

A XX. század számos műszaki újdonsága – az elektromágneses és felületi hullámok, a radiometria, holográfia, termográfia, ultrahang és örvényáramok – ötvöződik a korszerű roncsolás-mentes vizsgálati eszközökben és eljárásokban.[6]

A „dinamikus termográfia”[7] lényege, hogy a vizsgálandó darabbal külső energiát közölve a folytonossági hiányok, repedések közvetlen közelében hővé alakul és ez a hő – amely akár néhány tíz °C is lehet – már detektálható termo-kamera, vagy infra-érzékeny film segítségével. Az elv egyaránt alkalmazható a fém és kompozit szerkezetű repülő eszközök vizsgálatánál, [8,9] azonban a „gerjesztés” módja – az anyag és a vizsgálati körülmények függvényében – lehet eltérő. A roncsolás-mentes vizsgálati módszerek sorában kiemelt jövőbeli szerepet kap a dinamikus termográfia [10]. Tekintsük át a legjellemzőbb gerjesztési módokat, azok sajátosságait.

Az **optikai tartományú gerjesztés** – halogén lámpa, villanó fény – megfelelő szinkronjellel vezérelve biztosítja a fényforrás és a termo-kamera fázishelyes működését. A fény által keltett hő a sérülések, repedések környezetében a homogén anyagtól eltérően reflektálódik, amit a termo-kamera a besugárzások szünetében képi formában megjelenít. Az ismételt besugárzásokkal a mélyebb rétegek is elérhetők, a számítógépes képfeldolgozással a felbontás és a kiértékelés minősége tovább javítható [11].

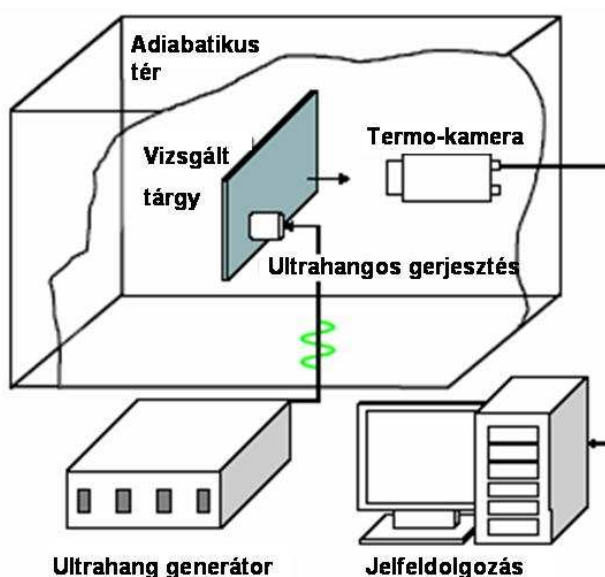
² <http://www.flir.com/uploadedFiles/CSV/Markets/Legacy/Documents/Omega%20Indigo.pdf>



3. kép. B747 vizsgálata optikai gerjesztésű termo-kamerás rendszerrel³

Az optikai tartományú gerjesztést – viszonylagos egyszerűségének köszönhetően – széles körűen alkalmazzák a repülőgépek felületi termo-diagnosztikai vizsgálatánál. (3. kép.)

Az **ultrahangos gerjesztés** általános felépítését az 1. ábrán lehet nyomon követni. A gerjesztő jel frekvenciáját és teljesítményét a vizsgált tárgy anyagához, méretéhez kell hangolni. A termo-kamera hőmérsékletváltozást érzékel – amely a mechanikus rezgések hatására következik be.



1. ábra Az ultrahanggal gerjesztett céltárgy termo-válasz vizsgálata⁴

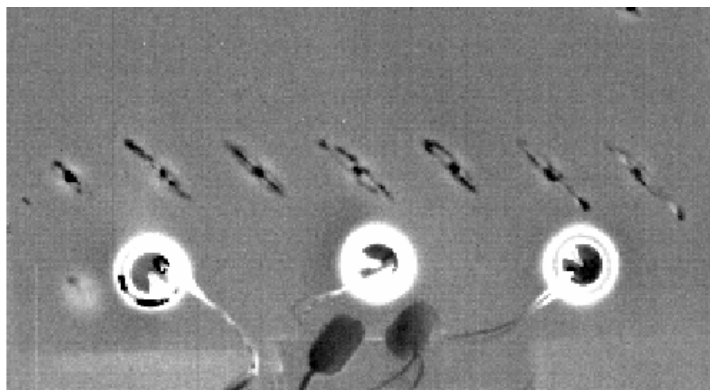
³ Fig. 2 THERMAL WAVE NDI OF DISBONDS AND CORROSION IN AIRCRAFT Xiaoyan Han, L.D. Favro and R.L. Thomas Wayne State University Institute for Manufacturing Research and Department of Physics Detroit, MI 48202, U.S.A.

⁴ Anyagvizsgálók Lapja 2009/3 p. 88 6. ábra. alapján

http://www.anyagvizsgaloklapja.hu/UserFiles/File/2009/3/e-AVL_2009_3_2_Trampus.pdf

Az egyszerű – nem szinkronizált – akusztikus gerjesztés, ugyan létrehozza a hőmérsékletváltozást a nem homogén, deformált, repedéses szerkezetekben, azonban emellett jelentős termikus zaj is keletkezik.

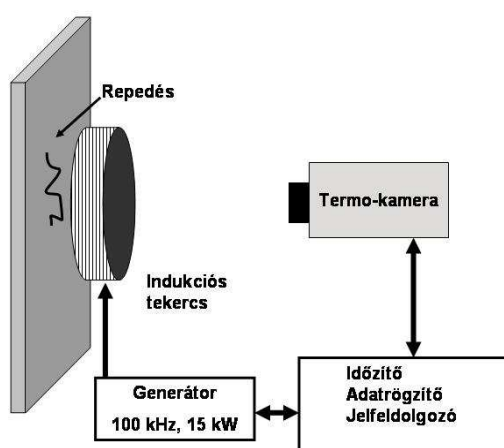
A túl nagy teljesítményű ultrahang generátorok önmaguk is kelthetnek deformációt – lásd ultrahangos hegesztés – ami a mérés meghamisításán túl maradandó károsodást is okozhat a vizsgált tárgyban. Ennek elkerülésére – a vizsgálandó tér közelében a felületre rögzítve – kisteljesítményű piezo-keramikus aktuátorokat alkalmaznak, valamint a jelfeldolgozó egység szinkronizálja gerjesztő generátort és a termo-kamerát.[12, 13]



4. kép. Kisméretű piezo-keramikus aktuátorok által gerjesztett „fázis-kép”⁵

A 4. képen látható a mintadarab 1 sec időtartamú 8 kHz frekvenciájú 200W teljesítményű besugárzását követő állapot. A Fourier transzformált fázis képe – bár tartalmazza az aktuátorok „nyomát” – jól mutatja a repedések helyét és alakját is.

Az **indukciós gerjesztéssel** a fémes (vezető) alkatrészekben okozhatunk hőmérséklet-emelkedést (2. ábra.). A nagyfrekvenciás jelet előállító generátor és a termo-kamera az időzítő által fázisban vezérelt, ami egyben a képfeldolgozás számára is referencia jelet biztosít.



2. ábra. Indukciós gerjesztéssel keltett hő a repedések, anyagfáradások termo-diagnosztikai felderítésére

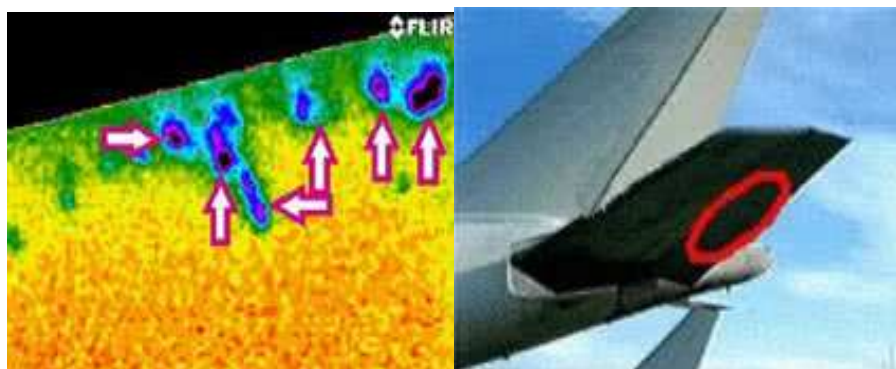
⁵ Fig. 5/c. Thermography with excitation by elastic waves: comparison of techniques (pulse, burst, lockin) by Th. Zweschper, A. Dillenz, G. Riegert, G. Busse University of Stuttgart, Institute of Polymer Testing and Polymer Science (IKP), Department of Nondestructive Testing, Pfaffenwaldring 32, 70569 Stuttgart, Germany

Az indukciós gerjesztés – a frekvenciatartomány miatt – csak a fémes vezető anyagokban kelt a detektáláshoz elegendő hőt. A továbbiakban ennek nyomán született – jelenleg kísérleti fázisban lévő – eljárást ismertetünk, amely lehetőséget kínál az eddig nem vagy csak nehezen detektálható sérülések felderítésére.

MIKROHULLÁMÚ GERJESZTÉS A DINAMIKUS TERMOGRÁFIÁBAN

A modern repülőgépek egyre nagyobb számban épülnek kompozit technológiával, ami a javuló tömeg/teljesítmény mutatók szempontjából öröndetes – azonban a fenntartás, karbantartás, javítás számára új kihívásokat is jelent. A korszerű kompozit alapú repülőgép alkatrészek „pre-preg” (előre impregnált) karbon, üveg, kevlár szövetből épülnek, amit a kötéshez vacuum-press kemencékben „sütnek” készre. A gyártás során folyamatos a minőség-ellenőrzés, ami biztosítja, hogy a kész alkatrész lehető legjobb paraméterekkel hagyja el a szalagot.

A repülőgépek életük folyamán gyakran kapnak „hideget-meleget” – ami önmagában nem lenne baj, hiszen így méretezték őket. Az előre nem látható események – vihar, villámcsapás – okozhat olyan, szemmel nehezen felfedezhető könnyebb sérüléseket, repedéseket, amelyeken keresztül nedvesség juthat például a „honeycomb” (méhsejt) szerkezetbe. (5. kép)

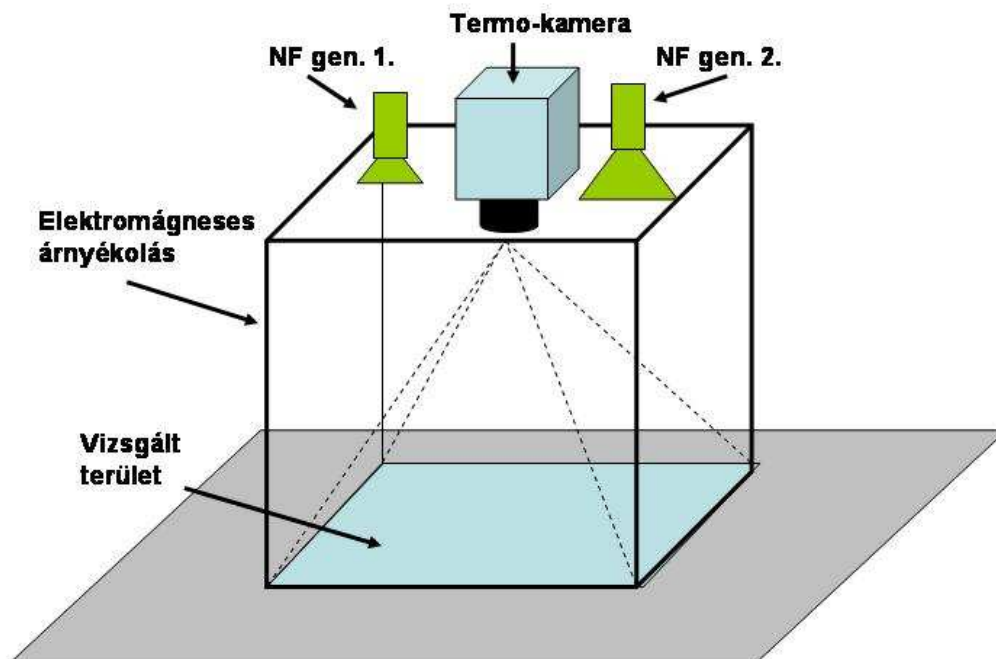


5. kép. A magassági kormány kilépő élébe befagyott víz termo-képe⁶

A korábban áttekintett roncsolásmentes vizsgálati módszerek sorát bővítendő a RLI kutatóival keressük a további termo-diagnosztikai gerjesztési módszereket, amelyek segíthetik az ilyen és ehhez hasonló – nem szokványos – meghibásodások felderítését. A nagyfrekvenciás gerjesztés tartományát a „mikrohullámú sütők” irányába próbáljuk kiterjeszteni – ezáltal a vízcseppek, jég, nedvesség, pára indikálását elősegíteni.

A műszaki megoldás alapja olyan nagyfrekvenciás – mikrohullámú – generátor(család), amely átfogja a repülőgépek építésénél használatos anyagok gerjesztési tartományát és alkalmas azokban termikus reakció kiváltására (3. ábra.).

⁶ <http://www.detect-a-leak.co.nz/other.html#aircraft>



3. ábra. A mikrohullámú vizsgáló kamra felépítése

A mikrohullámú generátor – megfelelően kiképezett antenna és kezelői védelmet biztosító árnyékoló rendszerrel együtt is hordozható, könnyen telepíthető egységet kell, hogy képezzen a termo-kamerát és a vezérlőt is magába foglaló szerkezetben. Mindemellett biztosítani kell a beépített berendezések elektromágneses kompatibilitási (EMC) körülményeit, ami fokozott belső árnyékolást követel a sugárzott és vezetett zavarok ellen.

A kutatás jelen fázisában (2010. március) a megfelelő generátorok kiválasztása, kipróbálása és mérőkamra megtervezése, kivitelezése folyik.

ÖSSZEFOGLALÁS

A nagy repülőgépgyárak, kutató intézetek, egyetemek számos eljárást dolgoztak ki a roncsolásmentes vizsgálatokra, amelyek az adott feladathoz illetve körülményhez illesztve hozhatnak eredményt. A légi járműveknél felmerülő üzemidő, karbantartás, sérülés-javítás utáni állapotok objektív megítélésében a dinamikus termográfia módszerei lehetnek segítségünkre. Az áttekintett gerjesztési módszerek önmagukban is új lehetőségeket kínálnak, ezért a ZMNE RLI tanszékein folyik a kipróbálásuk, mindemellett egy ezeken túlmutató „hiánypótló” megoldásról is beszámoltunk, melynek munkálatai jelenleg is folynak.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. BÉKÉSI László - KAVAS László - VONNÁK Iván Péter
Roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek alkalmazásának tapasztalatai
http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/roncsolasmentes_anyag_vzsg.pdf
- [2] GYENES Gábor - SVEHLIK János A roncsolásmentes anyagvizsgálatok (ndt) szerepe és jelentősége légijárművek állapotfelmérésében, üzemidő hosszabbításában és állapot szerinti üzemeltetésében
http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2006_cikkek/gyenes_gabor_svehlik_janos.pdf
- [3] <http://www.termografia-termokamera.hu/hu/felhasznalasi-teruletek>
<http://www.termokamera.hu/>
<http://www.thermografia.hu/>
- [4] <http://www.termografia-termokamera.hu/hu/termografia>
- [5] <http://www.flir.com/uploadedFiles/CSV/Markets/Legacy/Documents/Omega%20Indigo.pdf>
- [6] TÓTH László Miskolci Egyetem, Bay Zoltán Intézet SERGE CRUTZEN Joint Research Institute
RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATOK, AZOK MEGBÍZHATÓSÁGA ÉS KÖVETKEZMÉNYEI Készült: a TEMPUS
S_JEP_11271 projekt támogatásával
Miskolc – Petten 1999 <http://mek.niif.hu/01100/01189/01189.pdf>
- [7] Anyagvizsgálók Lapja 2009/3 pp88-89 http://www.anyagvizsgaloklapja.hu/UserFiles/File/2009/3/e-AVL_2009_3_2_Trampus.pdf
- [8] R.L. Thomas, Xiaoyan Han, and L.D. Favro Institute for Manufacturing Research Wayne State University, Detroit, MI 48202, USA Thermal Wave Imaging of Aircraft for Evaluation of Disbonding and Corrosion
<http://www.ndt.net/article/ecndt98/aero/017/017.htm>
- [9] David K. NONDESTRUCTIVE INSPECTION OF COMPOSITE STRUCTURES: METHODS AND PRACTICE HSU
Center for Nondestructive Evaluation Iowa State University Ames, Iowa 50011, USA
<http://www.ndt.net/article/wcndt2008/papers/612.pdf>
- [10] Yoseph Bar-Cohen: Emerging NDE Technologies and Challenges
at the Beginning of the 3rd Millennium – Part I, II Jet Propulsion Laboratory, Caltech, (82-105),
<http://www.ndt.net/article/v05n02/barcohen/barcohen.htm>
- [11] THERMAL WAVE NDI OF DISBONDS AND CORROSION IN AIRCRAFT Xiaoyan Han, L.D. Favro and R.L. Thomas Wayne State University Institute for Manufacturing Research and Department of Physics Detroit, MI 48202, U.S.A.
- [12] Thermography with excitation by elastic waves: comparison of techniques (pulse, burst, lockin)
by Th. Zweschper, A. Dillenz, G. Riegert, G. Busse University of Stuttgart, Institute of Polymer Testing and Polymer Science (IKP), Department of Nondestructive Testing, Pfaffenwaldring 32, 70569 Stuttgart, Germany
- [13] LOCKIN THERMOGRAPHY METHODS FOR THE NDT OF CFRP AIRCRAFT COMPONENTS Th. Zweschper, A. Dillenz, G. Riegert, and G. Busse University of Stuttgart – Institute of Polymer Testing and Polymer Science (IKP), Department of Non-destructive Testing, Pfaffenwaldring 32, D-70569 Stuttgart, Germany (zweschper@ikp.uni-stuttgart.de)
D. Scherling Airbus Germany GmbH, Huenefeldstrasse 1-5, D-28199 Bremen, Germany
<http://www.ndt.net/article/ecndt02/249/249.htm>