ASOCIAŢIA ROMÂNĂ DE EXAMINĂRI NEDISTRUCTIVE

Nr. 2 (4)
2015

EXAMINĂRI NEDISTRUCTIVE

ASOCIAȚIA ROMÂNĂ
ARoENd
DE EXAMINĂRI NEDISTRUCTIVE

Editura
PRINTECH

ASOCIAȚIA ROMÂNĂ
ARoENd
DE EXAMINĂRI NEDISTRUCTIVE

Membri de Onoare

Dr.ing. Iulian Panaitescu – preşedinte
Fiz. Iulia Chiruţă

Comitet Director al ARoENd

Ing. Mioara Andrei
Dr. fiz. Camelia Avadanei
Dr. ing. Anton Coroianu
Fiz. Niculae Doniga
Ing. Cristian Jivu
Prof. univ. Alexandrina Mihai
Dr. fiz. Vasile Popa
Ing. Adrian Stanciu
Dr. fiz. Stănică Vasiliu

Biroul Executiv al ARoENd

Dr. ing. Anton Coroianu
Fiz. Nicolae Doniga
Ing. Adrian Stanciu

Preşedinte ARoENd

Ing Adrian Stanciu

Comitet ştiinţific

Dr. fiz. Camelia Avadanei
Dr. ing. Anton Coroianu
Fiz. Niculae Doniga
Ing. Cristian Jivu
Prof. univ. Alexandrina Mihai
Dr. fiz. Vasile Popa
Dr. fiz. Adriana Savin
Dr. fiz. Marian Soare
Prof. univ. Florin Ştefănescu
Dr. fiz. Stănică Vasiliu

Asociaţia Română de Examinări Nedistructive – ARoENd – este o asociaţie profesională, fără scop lucrativ, neguvernamentală, independentă şi non-profit. ARoENd are statut propriu de funcţionare şi sediul în str. Şoldanului nr. 7, bloc 137, scara A, apart. 4, sector 4, Buc., cod fiscal RO 6222677.

În cadrul ARoENd din anul 1998 a fost înfiinţat şi funcţionează un organism independent de certificare a personalului care efectuează examinări nedistructive - DEPARTAMENT DE CERTIFICARE – ARoENd, DC – ARoENd.

Obiectivul DC este dezvoltarea unei scheme de certificare a personalului END şi de menţinere şi extindere a acesteia pentru toate metodele END solicitate de zonele interesate ale industriei. DC – ARoENd are o structură organizatorică şi administrativă care respectă cerinţele standardului SR EN ISO/IEC 17024.

Politica Organismului de Certificare va fi făcută publică prin apariţia pe site-ul ARoENd şi prin difuzarea în cadrul simpozioanelor organizate de asociaţie.

ARoENd

Offers the opportunity both for association members and for specialists interested in the Non destructive testing, to use pages of the journal to publish:

- Opinions and news from their own field of activity or, generally on NDT.
- Announcements about technical and/or scientific events.
- NDT – related advertisements, such as: requests and offers of equipment, supply and demand of jobs etc.
- Scientific and technical papers, typed according some requirements that will be communicated at request.

Additional informaţion and details:

Ing. Adrian Stanciu
Tel./fax: 0040213325843
E-mail: aroend@aroend.ro,
ego_adrian@yahoo.com

INFO

În perioada 01 – 03 Iunie 2016, va avea loc a XXIII – a ediţie a Simpozionului Internaţional al ARoENd,
Mamaia - Constanţa

Comitetul de redacţie

prof. univ. dr. ing. Alexandrina Mihai
ing. Adrian Stanciu
fiz. Nicolae Doniga
dr. fiz. Camelia Avadanei
ing. George Nicolescu

Cuprins

Editorial
Adrian Stanciu 2

CERCETĂRI • STUDII • APLICAŢII

Metode micromagnetice pentru caracterizarea nedistructivă la nivel macro și micro a materialelor
(Micro-magnetic testing methods for macro- and micro-scale non-destructive materials characterization)
M. Rabung, Fraunhofer - Institute for Non-Destructive Testing (IZFP), Campus E3 1, Saarbrücken, Germany……... 3

Evaluarea calităţii unor materiale compozite metalice (Al-SiC)
(Quality evaluation of some composite metallic materials Al-SiC)
Florin Ştefănescu, Gigel Neagu și Corneliu Rontescu, Univ. Politehnica din București 9

Instalaţii de control nedistructiv cu calibrare automată a sensibilităţii de examinare
(Nondestructive installations with automatic sensitivity calibration)
Teodor Trancă, DIAC SERVICII SRL ……..... 15

Inspecţia termografică în evaluarea umidităţii unor materiale folosite în construcţii
(Thermographic inspection in moisture analysis of some buiding materials)
Alexandrina Mihai, Florin Ştefănescu și Gigel Neagu, Univ. Politehnica din București …..... 19

INFORMAŢII • ŞTIRI • OPINII

Inspecţia cablurilor din sârmă împletită de oţel – Metoda câmpului magnetic de scăpări (MFL)
(Steel Wire Rope Inspection - Magnetic Field Leakage Method)
Mugurel Dorian Vrapciu, TOTAL CONTROL SRL……..... 26

Noul sistem portabil de radiografie digitală şi generatoare X ultrauşoare pentru examinări nedistructive pe teren
(New portable digital radiographic system and X-ray ultralight generators to outdoor NDT field)
Kristóf Emeric, KIMET ……..... 31

Examinarea ultrasonică a sudurilor circulare ale conductelor din oţel placat cu traductoare matriciale duale
(Ultrasonic Inspection of Dissimilar Girth Welds of Large Diameter CRA-Clad Pipeline with Dual Matrix Array Transducers)
Octav Teodorescu, NAMICON …….. 36

Comunicate ARoENd 40

Stimate Doamne, Stimaţi Domni, Dragi Colegi,

Suntem astăzi la apariţia numărului 4 (2/2015) din seria nouă a revistei EXAMINĂRI NEDISTRUCTIVE.

În anul 2014 împreună cu colegii din Comitetul Director al ARoENd şi din Comitetul Ştiinţific al revistei am ştiut că această acţiune nu va fi uşoară, va fi nevoie de multă muncă şi mulţi bani, dar având specialişti de mare valoare şi cu mult suflet, cu multă dăruire, care vor colabora cu noi, am avut curajul să afirm că nu ne vom opri la numărul 1/2014! Şi vrem, cu această ocazie, să transmitem mulţumiri tuturor specialiștilor români şi străini care şi-au adus contribuţia la apariţia, la un înalt nivel tehnico-ştiinţific, a celor patru numere ale revistei asociaţiei.

Revista noastră a fost foarte bine apreciată de colegii din asociaţiile similare din Europa, de la care am primit calde felicitări. Mai mult, ultimul număr al revistei, dedicat celor 25 de ani, 1990-2015, de la înfiinţarea ARoENd a fost transmis şi colegilor din China, Japonia, Africa de Sud, SUA etc.

Anul 2015 a fost anul în care s-a desfăşurat la Mamaia, în perioada 10-12 iunie cea de-a XXII-a ediţie a Simpozionului Internaţional al ARoENd la care au participat peste 100 de specialişti români şi străini (din Germania, Danemarca, Suedia, Italia, Cehia, Anglia) şi s-au prezentat un număr mare de comunicări tehnice de mare interes.

Mai este puţin până la finalul anului 2015 şi ne gândim că în anul 2016 se vor desfăşura două evenimente speciale: cea de-a XIX-a ediţie a Conferinţei Mondiale de Control Nedistructiv din perioada 13-17 iunie, München-Germania şi cea de-a XXIII-a ediţie a Simpozionului Internaţional al ARoENd 01-03 iunie 2016, Mamaia.

La München, ARoENd va participa, pentru prima dată, cu stand expoziţional la o Conferinţă Mondială şi suntem convinşi că vom reprezenta cu cinste România şi familia specialiştilor români din domeniul examinărilor nedistructive.

Vă invităm pe Dumneavoastră ca specialişti, dar şi pe manageri şi toate persoanele interesate de domeniul examinărilor nedistructive, să fie alături de noi la acest eveniment care, cu siguranţă va satisface toate aşteptările participanţilor, expozanţilor şi organizatorilor prin programul comunicărilor tehnico-ştiinţifice, prin expoziţia de tehnici şi servicii NDT şi contactele şi schimbul de experienţă între participanţi.

Vă invităm de asemenea să deveniţi membri şi membri susţinători ai ARoENd !

În final o veste bună pentru toţi colegii şi pentru cei interesaţi de activitatea de certificare desfăşurată de ARoENd:

MECT a semnat în data de 13.11.2015 ordinul prin care ARoENd a fost desemnat pentru realizarea aprobării personalului care realizează examinări nedistructive la echipamente sub presiune reglementate de Directiva 97/23/CE.

Cu ocazia Anului Nou 2016 vă dorim sănătate, bucurii, prosperitate!

LA MULŢI ANI!

Adrian Stanciu

CERCETĂRI • STUDII • APLICAŢII

Metode micromagnetice pentru caracterizarea nedistructivă la nivel macro și micro a materialelor

(Micro-magnetic testing methods for macro- and micro-scale non-destructive materials characterization)

M. Rabung
Fraunhofer - Institute for Non-Destructive Testing (IZFP), Campus E3 1, Saarbrücken, Germany

Abstract

Macro- and micro-scale non-destructive materials characterization by means of micromagnetics is of increasing interest. Due to their capability to detect the change in the interaction between the magnetic structure and lattice defects like dislocations, precipitates, grain boundaries or residual stress fields, the micro-magnetic non-destructive techniques are suitable for the characterization microstructure and/or the residual stress state of materials and components. The present work shows few examples of the research activities concerning the macro- and micro-scale material characterisation by means of micro-magnetic methods at Fraunhofer IZFP.

Rezumat

Caracterizarea nedistructivă a materialelor la nivel de macro și micro-scală prin metode micromagnetice prezintă un interes în creștere. Datorită capacităţii acestora de a detecta schimbarea în interacţiunea dintre structura magnetică și defectele de reţea precum dislocaţiile, precipitatele, limitele de grăunţi sau domeniile cu tensiuni reziduale, metodele nedistructive micromagnetice sunt adecvate pentru caracterizarea microstructurilor și/sau starea de stres rezidual a materialelor și componentelor. Lucrarea prezintă câteva exemple din activitățile de cercetare referitoare la caracterizarea materialelor la nivel de macro- și micro prin metode micro-magnetic desfășurate la institutul Fraunhofer IZFP din Germania.

1. Introduction

Non-destructive material characterization techniques have traditionally been employed to detect, classify and to size defects in materials. Micromagnetics is an interesting tool for materials characterization as well as stress condition assessment even at microscopic level. However in the last two decades a significant amount of effort has been invested, to develop NDT technique which can reliably characterize materials in terms of properties describing the fitness for use. In case of the power plants components such as pressure vessels and pipes the fitness for use under mechanical loads is characterized in term of the determination of mechanical properties like mechanical hardness, yield and tensile strength, toughness, fracture appearance transition temperature, fatigue strength or usage factor. Fraunhofer IZFP developed the so-called 3MA-technique ("Micro-magnetic Multi-parameter Microstructure and Stress Analysis") in order to determine material properties by using the correlation between microstructure, mechanical properties and magnetic behavior of ferromagnetic materials.
For the high resolution characterization of thin layers concerning their microstructure and/or residual stresses the Barkhausen noise and eddy current microscope (BEMI) was developed and intensively tested. BEMI is using also the 3MA-technique but a special probe with high spatial resolution.

2. Micro-magnetic material characterization

Ferromagnetic materials, even in the demagnetized state, consist of small, finite regions called domains. Each domain is spontaneously magnetized to the saturation value. The process of magnetization is then one of converting the multi-domain state to a single-domain magnetized in the same direction as the applied magnetic field. That process does not occur continuously but stepwise by motion of the domain walls, the so-called Bloch walls, and for stronger applied fields, by rotation of the magnetization vectors in the domains into the direction of the applied field. The Bloch wall motions take place discontinuously because the walls are temporarily pinned by microstructural obstacles like dislocations, precipitates and phase or grain boundaries or residual stress fields in a polycrystalline material [1]. The micro-magnetic material characterization is based on the detection of different magnetic properties, which are strongly depended on the microstructure and residual or load stresses (Fig. 1). The basic requirements for the performance of the micro-magnetic material characterization are the ferromagnetic behavior of materials, magnetization setup based on an electromagnet, probes to detect the magnetic characteristics and a PC for data acquisition and processing.

2.1. Integral load-stress related Barkhausen noise

The following micro-magnetic concept was developed at Fraunhofer IZFP in order to characterize micro residual stresses of IInd and IIIrd order. It is based on load-stress-dependency of the maximum Barkhausen noise amplitude. The Barhausen noise is detected in that case by means a a coil wound around the specimens to be investigated.

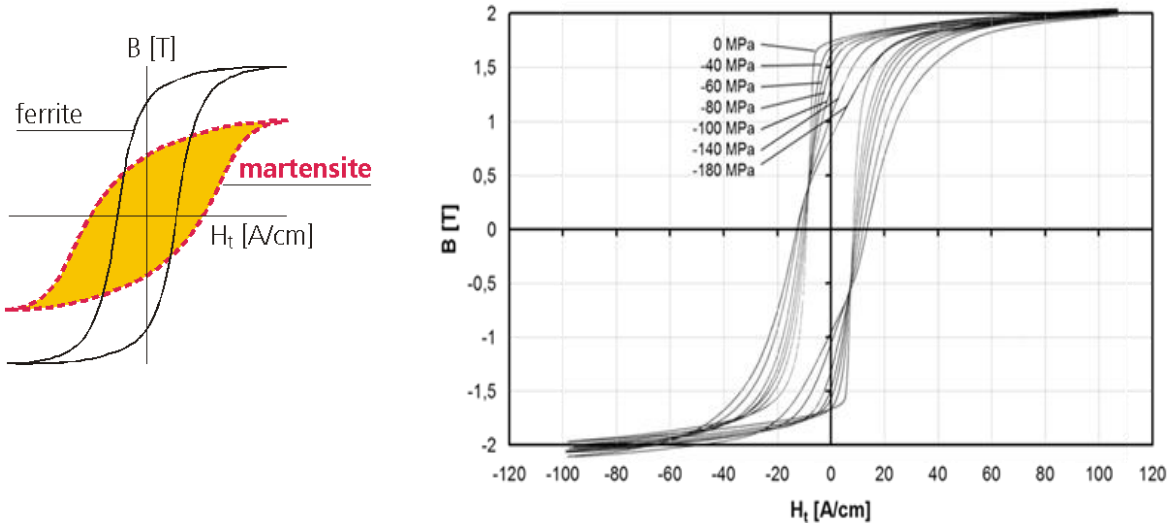


Fig. 1. Hysteresis loop and influence of microstructure and load stress.

The Barkhausen noise events recorded during one hysteresis cycle show a maximum as function of the tangential magnetic field. The recorded series of Barkhausen noise maxima, plotted as a function of the applied load stress (so called $M_{MAX}(\sigma)$-curve) , again reaches a local maximum at some specific applied load stress (Fig. 2).

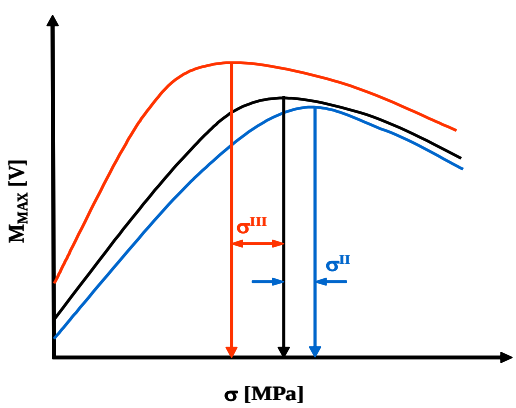


Fig. 2. Schematically represented tensile load stress dependence of the maximum Barkhausen noise amplitude ($M_{MAX}(\sigma)$ - curve) for residual stress states

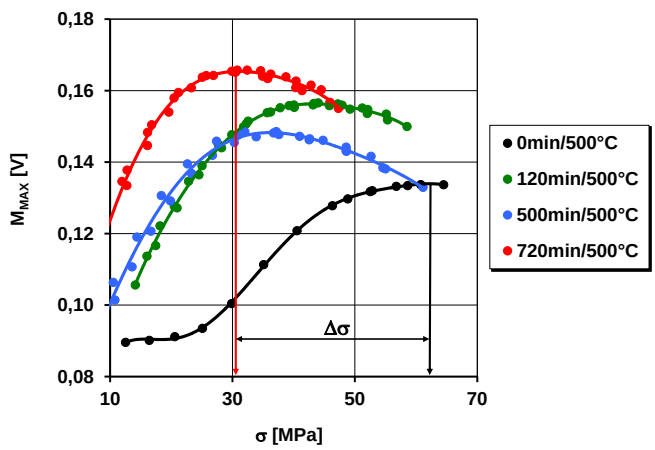


Fig. 3. ND determination of micro residual stresses in thermal aged Fe-Cu-Ni-Mn alloys.

A shift of this relative maximum along the stress axis can be observed as a measure for the change of the micro (or macro) residual stress state. Figure 2 documents the influence tensile or compressive residual stresses. The red curve corresponds to tensile residual stresses e.g. micro-residual stresses of IIIrd order induced nanoparticles coherently embedded in a ferromagnetic matrix. The blue curve corresponds to compressive residual stresses due to different thermal expansion coefficient of different

microstructures (ferrite/ cementite). A measurement technique based on this effect permits the quantitative characterization of residual stress variations without the use of a reference method such as X-Ray diffraction [2].

Fig. 3 presents the tensile load stress dependency of the maximum Barkhausen noise amplitude for differently thermally aged Fe-Cu-Ni-Mn alloys. The shift of this relative maximum ($\Delta\sigma$) along the stress axis represents the micro- residual stresses induced during thermal ageing [3].

2.2. 3MA approach

Fraunhofer IZFP pursues the so-called 3MA-technique ("Micro-magnetic Multi-parameter Microstructure and Stress Analysis") in order to determine mechanical properties of ferromagnetic materials. The 3MA method is particularly sensitive in mechanical property determination, as the relevant microstructure governs the material behavior under mechanical loads (strength and toughness) in a similar way to the magnetic behavior under magnetic loads, i.e., the magnetization in a hysteresis loop. Because of the complexity of microstructures and the superimposed stress sensitivity there is an absolute need to develop a multiple-parameter approach [4].

3MA uses a large number of micro-magnetic parameters (currently 41) which are derived from four micro-magnetic methods (harmonics analysis of the magnetic tangential field strength H_t, analysis of the magnetic Barkhausen noise $M(H_t)$, incremental permeability $\mu_\Delta(H_t)$ analysis and eddy current impedance measurements at different operating frequencies) (Fig. 4). These parameters are measured on well-defined calibration specimens. "Well defined" means that the calibration specimens are reliably described by reference values such as mechanical hardness (according to Vickers or Brinell, etc.) or strength values like yield and/or tensile strength, or residual stress values measured, for instance, by X-ray diffraction. Each reference value will correspond to 41 magnetic parameters which are detected during one magnetical hysteresis cycle and build a calibration data.

A calibration function is developed by means of a calibration procedure (polynomial function or regression analysis) based on the correlation between each reference value (mechanical properties) and the detected magnetic parameters. By using that calibration function the mechanical properties of specimens which were not investigated by means of a reference methods but using the 3MA-technique can be determined (fig. 5).

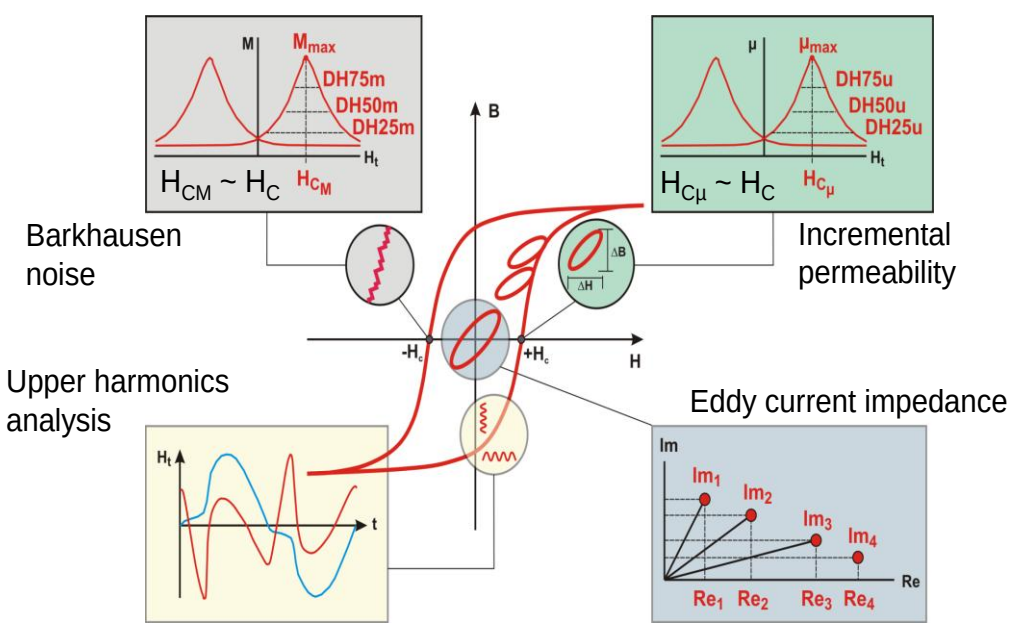


Fig. 4. Background 3MA: micromagnetic multi-parameter microstructure and stress analysis.

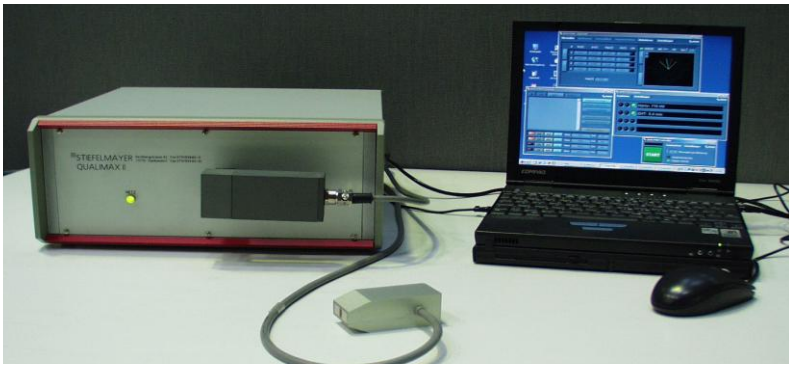


Fig. 5. 3MA-II testing unit.

Fig. 6 shows the capability of the 3MA procedure to predict the mechanical hardness as a degree of the embrittlement in case of thermal aged pressure vessel material used in the German nuclear power plants WB36 (1.6368, 15NiCuMoNb5) after calibration. The black points represent specimens which were characterized by means of Vickers method and 3MA and were used for building the calibration function. The circled points represent the specimens which the calibration function was applied on.

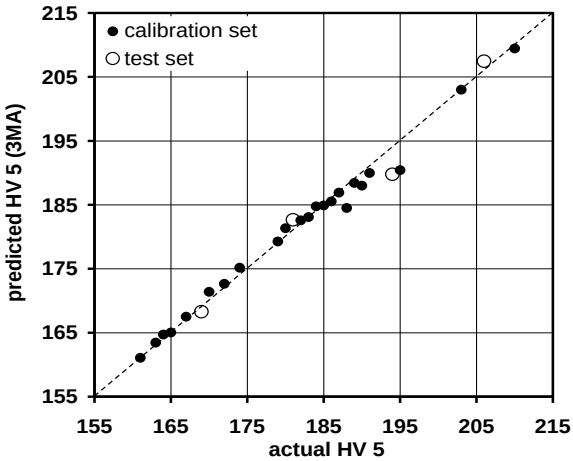


Fig. 6. Prediction of the Vickers hardness for WB 36.

2.3. Barkhausen noise and eddy current microscopy

Measurements of magnetic properties are possible even at microscopic scales. For quick micromagnetic residual stress and layer thickness characterization of ferromagnetic layers Barkhausen noise and eddy current microscopy (BEMI) was developed and tested extensively on IZFP (Fig. 7 right hand side).

Based on the micromagnetic multiparameter microstructure and stress analysis (3MA) and using improved Barkhausen noise and eddy current sensors (Fig. 7 left hand side) a low-cost, robust usable even in industrial environments BEMI-testing system has been constructed and tested. This system allows surfaces to be analyzed regarding their stress condition (i. e. residual stress) and material properties down to resolutions of 20 µm by stepwise scanning the material surface in defined x and y positions having a measurement time per measuring position ≤ 1 s. [5].

The image of the distribution of these micro-magnetic characteristics provides primary information on material homogeneity. Furthermore, the comparison of the characteristics of several samples allows for a qualitative estimation of the differences in material or layer properties. The measuring range for layer thickness is 5 nm to 100 µm, depending on material.

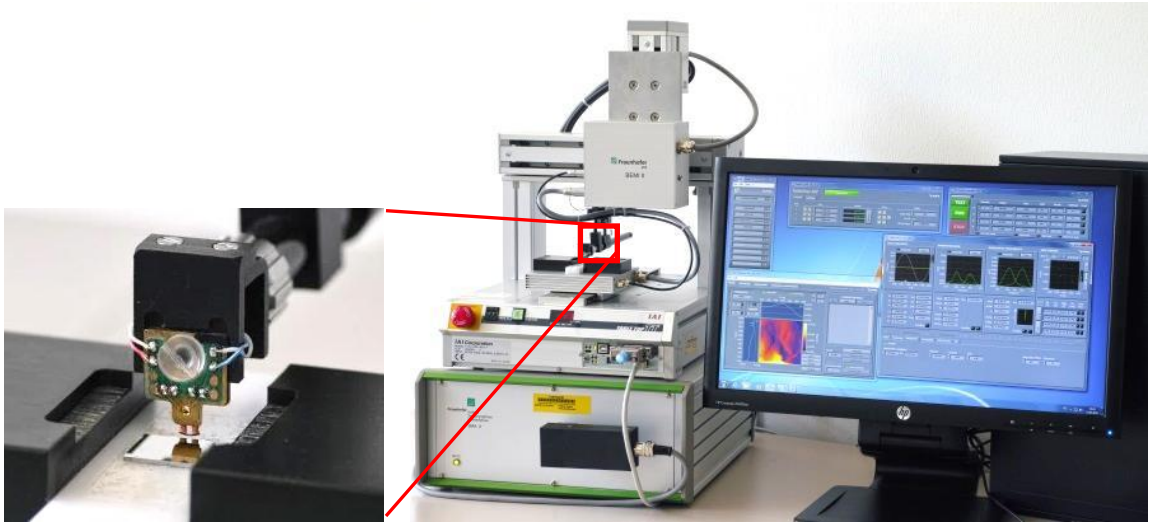


Fig. 7. Barkhausen noise and eddy current microscope (right hand side) with high spatial resolution probe (20 µm) (left hand side).

Possible applications of BEMI are:

- Materials characterization and optimization with high spatial resolution for all materials or layered systems containing at least one metallic component
- Examination of the homogeneity of microstructure or layers
- Imaging of stress distribution
- Determination of the thickness of a metallic and/or ferromagnetic top layer on any substrate
- Determination of the thickness of a non-ferromagnetic top layer on a ferromagnetic substrate
- Characterization of multilayers

One example of high-resolution micromagnetic characterization is the detection of microstructure changes induced by means of the B-ion implantation of NiFe thin layers (10 nm) [6]. Fig 8 shows BEMI scans on CoFeB thin layers of different thickness before (left hand side) and after (right) the ion-implantated. The bright area of the left hand side picture represents the sample, the dark one the surrounding air. In case of the right hand side picture the bright strips represent the sample area which was not treated by ion implantation and the dark area between them represents the field which was ion-implanted. The dark area outside of the bright strips is air.

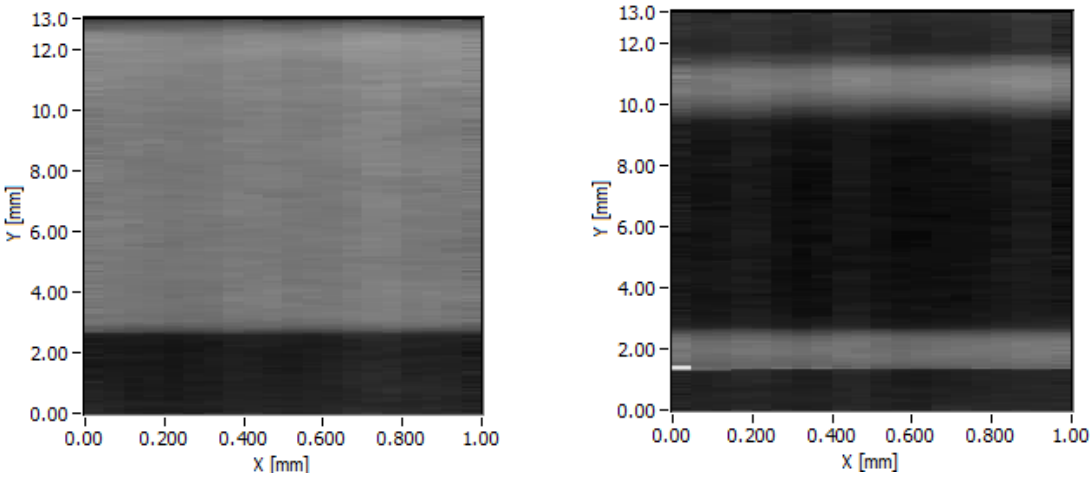


Fig 8. BEMI-Scans on NiFe thin layers non-treated (left hand side) and ion-implanted (right hand side).

3. Conclusions

Iron and steel parts, as well as components used in machines, vehicles and plant engineering are often made from ferromagnetic materials. These components are thermally treated and machined in order to create the desired functional characteristics. Determining the quality of the surface layer properties requires suitable inspection methods. Micro-magnetic methods offer a fast and nondestructive way to characterize and analyze materials during or directly after a production step with up to 100 percent process integration.

Application examples of micro-magnetic techniques are:

- Quality assurance for induction, case, press, nitride, laser and electron beam hardening processes
- Grinding burn detection and characterization
- Detection of thermal treatment defects
- Surface hardening characterization
- Online characterization of rolled steel
- Incoming goods inspection
- Residual and load-induced stress testing, even on integrated components
- Monitoring and recurring inspections (early detection of thermal aging, neutron embrittlement, fatigue, creep damage, stress change)„„
- High spatial resolution material characterization and optimization

Literature

[1] Jiles, D.: "Introduction to magnetism and magnetic materials", Chapman and Hall, 1990

[2] Altpeter, I.; Dobmann, G.; Kröning, M.; Rabung, M.; Szielasko, K.: Micro-Magnetic Evaluation of Micro Residual Stresses of the IInd and IIIrd Order, NDT&E International. 42 (2009), 4, 283-290.

[3] Rabung, Madalina; Altpeter, Iris; Boller, Christian; Dobmann, Gerd; Herrmann, Hans-Georg: Non-destructive evaluation of the micro residual stresses of III-rd order by using micro magnetic methods, NDT&E International. 63 (2014), 1, S. 7-10.

[4] Szielasko, Klaus; Tschuncky, Ralf; Rabung Madalina; Seiler, Georg; Altpeter, Iris; Dobmann, Gerd; Herrmann, Hans-Georg; Boller, Christian: Early Detection of Critical Material Degradation by Means of Electromagnetic Multi-Parametric NDE, Chimenti, D.E. (Ed.); Thompson, D.O. (Ed.); Bond, Leonard J. (Ed.), 40th Annual Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation Incorporating the 10th International Conference on Barkhausen Noise and Micromagnetic Testing. Melville, New York: American Institute of Physics (AIP), 2014, 8 Seiten. (AIP Conference Proceedings 1581).

[5] Altpeter, I., Theiner, W., Gessner, M.: Vorrichtung zum ortsaufgelösten zerstörungsfreien Untersuchungen vom magnetischen Kenngrößen, Europäisches Patent Nr. EPO 595 117B1, 04.05.1994.

[6] Szielasko, Klaus; Rabung, Madalina; Tschuncky, Ralf; Kopp, Melanie; Hans, Michael; Weber, Fabian; Sheikh Amiri, Meisam; Richert, Hendryk; Schmidt, Heidemarie; Kreller, Martin; Fischer, Carsten; Eigemann, Bernd: Ortsauflösende Charakterisierung ferro- und ferrimagnetischer Schichten für magneto-resistive und magnetooptische Sensoren, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung e.V. (DGZfP): DGZfP-Jahres-tagung 2014. ZfP in Forschung, Entwicklung und Anwendung: Zerstörungsfreie Materialprüfung, Berlin, 2014.

Evaluarea calităţii unor materiale compozite metalice (Al-SiC)

(Quality evaluation of some composite metallic materials Al-SiC)

Florin Ştefănescu, Gigel Neagu și Corneliu Rontescu

Universitatea POLITEHNICA din Bucureşti

Abstract

The paper presents some characteristics of composite materials, aluminium - SiC particles, obtained by mechanical mixing followed by casting, typical defects of these materials and the most adequate methods to detect and to analyze the possible defects for quality evaluation.

În lucrare se prezintă câteva caracteristici ale materialelor compozite din categoria aluminiu-particule de carbură de siliciu (obținute prin amestecare mecanică urmată de turnare), defectele tipice care apar la producerea acestor materiale și metodele cele mai potrivite folosite pentru detectarea și analiza defectelor apărute.

1. Introducere

Compozitele cu matrice metalică au atras atenția oamenilor de știință încă din 1930, dar cercetările majore de importanță industrială s-au amplificat în ultimele trei decenii. Fabricarea materialelor compozite din fază lichidă, folosind diverse tehnici de amestecare a componentelor și de turnare, a fost de mult timp considerată ca fiind economic viabilă în principal datorită costului redus de producție. Obţinerea compozitelor metalice prin turnare prezintă atât avantajul că nu necesită investiții majore în utilaje și dispozitive, cât și asigurarea unei flexibilităţi în proiectarea structurii prin solidificare controlată.

Din cele circa 1600 de tipuri de materiale inginerești disponibile în momentul de față pe piață, aproximativ 200 sunt compozite [1-3]. Combinația aluminiu (ca matrice) și carbura de siliciu (ca material de ranforsare) are numeroase aplicații în domenii de vârf ale industriei, deoarece aceste materiale au proprietăți mecanice și chimice mai bune decât componentele, ce le alcătuiesc: rezistență mecanică, rigiditate, rezistență sporită la abraziune și impact, rezistență la coroziune și preţuri rezonabile.

2. Compozite aluminiu – carbură de siliciu

Caracteristicile carburii de siliciu, în mod special duritatea mare a acesteia, îmbunătățește proprietățile de ansamblu ale materialului compozit rezultat care își găsește în prezent cele mai frecvente aplicații în producerea unor componente intens solicitate la uzare, cum ar fi: discuri de frână, cadre de bicicletă sau a unor structuri cu exigenţe mari în privinţa calităţii și siguranţei în funcţionare, cum ar fi: industria construcţiilor aerospațiale sau industria automobilor.

În prezent, pentru producerea și procesarea acestor tipuri de materiale compozite se folosesc diverse metode cum ar fi: amestecarea mecanică a componentelor cu matricea în stare lichidă urmată de *turnare*, metoda de *amestecare în stare semi-solidă,* amestecul astfel obținut fiind apoi repede turnat într-o formă metalică simplă ("Compocasting"), prin *metalurgia pulberilor*, prin *depunere după atomizare*, tehnici care implică folosirea plasmei sau prin *turnare urmată de presare* ("Squeeze-casting") [2, 3]. Dintre acestea, cea mai simplă și mai comercială este metoda amestecării mecanice a componentelor (metoda "Vortex"), urmată de turnare, principala problemă fiind în acest caz asigurarea unei bune umectări a componentelor și realizarea unei distribuții uniforme a materialului de ranforsare în matrice.

În figura 1 sunt prezentate schematic modalităţi de producere a compozitelor cu matrice metalică ranforsate cu particule.

Pentru îmbunătățirea condițiilor de umectare a particulelor de SiC de către topitura de aluminiu acestea trebuie tratate termic în prealabil. Dacă nu se iau măsuri tehnologice adecvate, rezultă o distribuție neuniformă cauzată de segregarea gravitațională a particulelor, adică de sedimentarea lor. De aceea, particulele trebuie preîncălzite la 600-800°C pentru îndepărtarea substanțelor volatile și menținerea temperaturii lor la o temperatură de 750°C, apropiată de temperatura topiturii.

Prin tratarea termică a carburii de siliciu, rezultă un strat subțire de SiO_2 care îmbunătățește umectarea dintre componente, iar degazarea băii metalice se poate realiza cu hexacloretan (C_2Cl_6). Amestecarea se face câteva minute, cu menținerea temperaturii de 750°C, la o viteză medie de rotație de 400 rot/min.

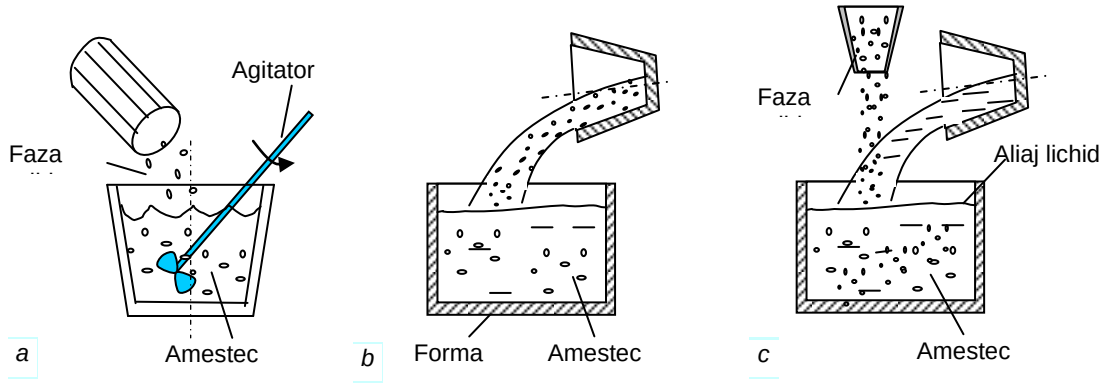


Fig. 1. Scheme de obtinere a compozitelor metalice: *a*. Adăugarea particulelor în topitura agitată; *b*. Turnarea amestecului astfel obținut; *c*. Adăugarea fazei complementare în jetul de aliaj lichid.

Compozitele Al-SiC (particule) au o rezistență mare la uzare [4, 5], o greutate specifică redusă și valori mici ale coeficientului de dilatare termică, mai ales la conținuturi mari de particule de SiC în matrice (de exemplu, coeficientul de dilatare termică ajunge la 12.10^{-6} °C^{-1} pentru 40% vol. SiCp) [6].

Totuși, temperatura ridicată poate crea unele dificultăți în procesul de fabricare a acestor materiale, deoarece există posibilitatea producerii unor reacții chimice între componente, ceea ce limitează într-o anumită măsură aplicabilitatea compozitelor Al-SiC. În sistemul Al-SiC, conform diagramei de echilibru, compușii Al_4C_3 și Al_4SiC_4 se pot forma ca particule separate sau ca un strat continuu la suprafața materialului complementar.

Reacțiile chimice sunt următoarele:

$$4Al + 3SiC = Al_4C_3 + 3Si,$$

$$4Al + 4SiC = Al_4SiC_4 + 3Si.$$

În cazul unui strat de carbură de aluminiu la suprafața particulelor de SiC, creșterea cantității produșilor de reacție continuă prin difuzie în stare solidă.

Suprafața de separație Al_4C_3-SiC este rugoasă, ducând la concentrarea tensiunilor interne, cu unele consecințe negative asupra proprietăților compozitului.

Prin oxidarea particulelor de SiC se asigură îmbunătățirea condițiilor de umectare, deoarece SiO_2 reacționează cu Al și Mg.

În compozitele pe bază de Al-Si-Mg și particule oxidate de SiC se formează compușii MgO și $MgAl_2O_4$, care conduc la micșorarea conținutului de Mg din matrice.

Formarea spinelului $MgAl_2O_4$ se bazează pe reacția:

$$2Al + 2SiO_2 + Mg = MgAl_2O_4 + 2Si.$$

Distribuția particulelor de SiC în piesele turnate și solidificate depinde de [7]:

- aglomerarea particulelor de SiC înainte de-a fi introduse în matricea lichidă;
- aglomerarea și segregarea particulelor de SiC în timpul și după introducerea lor în topitură;
- deplasarea particulelor de SiC în topitură;
- segregarea carburii de siliciu în timpul solidificării.

Investigații detaliate efectuate pe Al-Si/SiCp au reliefat următoarele aspecte:

- în timpul solidificării aliajelor Al-Si hipoeutectice, particulele mici de SiC sunt respinse de către dendritele în creștere, în special la viteze de răcire scăzute;
- la viteze mari de răcire, atunci când distanța dintre brațele dendritelor este mai mică decât dimensiunea particulelor, acestea din urmă nu vor mai segrega în timpul solidificării.

Carbura de siliciu are densitatea de 3,21 g /cm^3, coeficientul de dilatare termică de $5.4.10^{-6}$ °C^{-1} și modulul de elasticitate de 324 GPa (la 1090 °C), având tendința de a segrega prin sedimentare în topitura de aluminiu. Pentru a produce fenomenul de durificare a matricei, particulele de carbură de siliciu trebuie să fie mici (de aproximativ 5...20 μm).

Trebuie evitată pe cât posibil absorbția de gaze la elaborarea matricei, deoarece aceste gaze sunt mult mai greu de îndepărtat ulterior. Reacția aluminiului cu particulele de SiC și formarea compusului Al_4C_3 micșorează fluiditatea materialului turnat și înrăutățește proprietățile mecanice.

Este necesară agitarea continuă până aproape de momentul turnării, pentru a evita manifestarea accentuată a segregării gravitaționale.

Pentru o mai bună umectare, baia metalică trebuie aliată cu Mg. Încălzirea în prealabil a carburii de siliciu la circa 900°C are de asemenea un efect favorabil prin desorbţia unor impurităţi şi formarea unui strat subţire de SiO_2. Se recomandă ca paletele de agitare să se afle la 35% din înălţimea coloanei de topitură (faţă de fundul creuzetului) şi deci la 65% din înălţime faţă de suprafaţa liberă a matricei lichide. Vârtejul format transferă particulele de la suprafaţa lichidului în interiorul acestuia, iar agitarea menţine aceste particule în stare de suspensie.

Prin reducerea duratei de solidificare se micșorează timpul de manifestare a segregării gravitaționale a particulelor de ranforsare.

Este de dorit ca produsele turnate să aibă o formă apropiată de cea finală, deoarece prelucrarea mecanică este greu de realizat din cauza durității mari a carburii de siliciu.

3. **Defecte specifice**

Principalele defecte ale compozitelor aluminiu – carbură de siliciu obţinute prin procedeul mai sus menţionat sunt: pori, aglomerări de particule, distribuţie neuniformă a particulelor, neincluderea cantităţii de particule prevăzute, fisuri determinate de erori tehnologice la turnare (fig. 2).

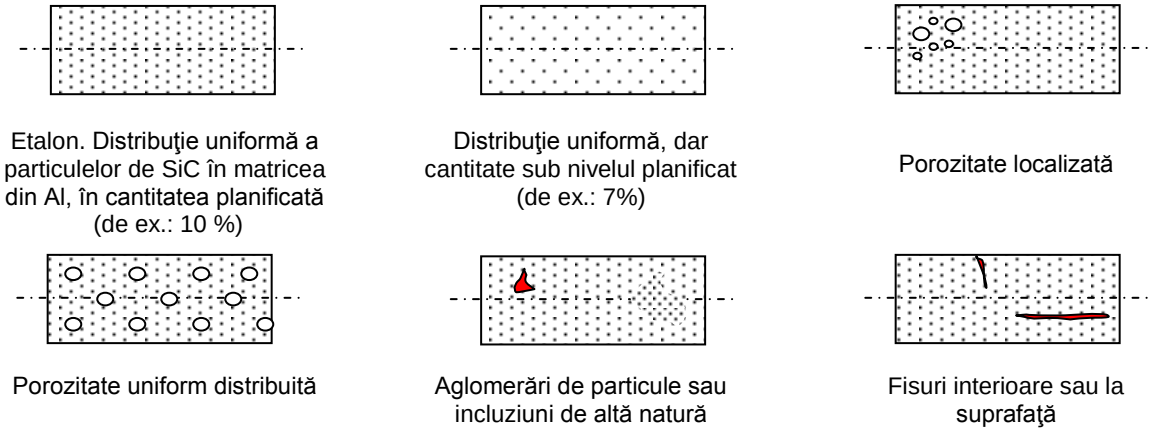


Fig. 2. Principalele defecte specifice compozitelor metalice.

Porozitatea compozitelor rezultă în primul rând din aerul introdus în topitură prin mișcarea de rotație - amestecare, dar și din aerul care înconjoară particulele de ranforsare.

Principalele cauze de producere a porozității sunt:

- pătrunderea aerului și a altor gaze aflate într-un strat superficial situat în jurul particulelor;
- înglobarea de gaze în topitură în vârtejul format în timpul amestecării;
- formarea vaporilor de apă, care provin din umiditatea superficială a materialului de ranforsare;
- ieșirea hidrogenului dizolvat din topitura care reprezintă matricea;
- contracția aliajului care nu este compensată de aliajul lichid aflat în zonele adiacente.

Volumul total al porozităților, mărimea și distribuția lor în produsul turnat din material compozit joacă un rol important în asigurarea proprietăților mecanice ale produsului rezultat după solidificare. Există mai multe strategii care pot fi utilizate pentru a limita apariția porozităților, cum ar fi:

- turnarea în stare semisolidă în vid;
- degazarea avansată a topiturii prin barbotarea acesteia cu un gaz inert;
- turnarea sub presiune;
- deformarea plastică prin compresie, extrudarea sau laminarea materialului pentru închiderea porilor, mai ales că porozitatea influențează negativ rezistența la coroziune.

Totuși, porozitatea și înglobarea incompletă a cantităţii de particule ramân principalele defecte ale acestor materiale obţinute prin turnare, în varianta "Vortex".

4. **Probele analizate**

Aluminiul. topit într-un cuptor cu flacără, în creuzet din grafit, a fost supraîncălzit până la temperatura de 850°C și a fost amestecat cu particule din carbură de siliciu, forma cristalografică α, cu dimensiuni mai mici de 125 μm. Proporția de material complementar utilizată în timpul experimentărilor a fost de 5%, 7% și respectiv 10% vol. Pentru o înglobare mai bună a materialului de ranforsare în matrice s-au luat mai multe măsuri (în sistemul aluminiu - carbură de siliciu valorile unghiului de contact sunt mai mari de 90°): *supraîncălzirea băii metalice* cu 190°C (tensiunea superficială a topiturii scade cu creșterea temperaturii), *alierea topiturii din aluminiu cu magneziu (*1,5%), *preîncalzirea particulelor din carbură de siliciu* la temperaturi cuprinse între 500…550°C pentru eliminarea peliculei de gaz de la suprafaţa materialului complementar. Dimensiunile probelor turnate au fost ϕ30/150 mm și răcirea s-a efectuat în două variante: răcire în amestec de formare și în forme la care partea inferioară a fost o placă de cupru. S-au turnat probe martor din Al în ambele variante de răcire și compozite cu 1,5% magneziu și cu o cantitate de carbură de siliciu variabilă. În figura 3 sunt prezentate probele turnate (din care s-au tăiat eșantioane cu lungimea de 80 mm pentru evaluarea calităţii) și echipamentul utilizat.

Fig. 3. Probele turnate și echipamentul folosit (defectoscop USM35XS, palpatoare normale de 4 și 5 MHz).

5. Examinarea cu ultrasunete

Diverse tehnici de examinare bazate pe proprietăţile ultrasunetelor sunt tot mai intens folosite în evaluarea calităţii materialelor compozite, nu numai pentru a fundamenta decizia de acceptare sau respingere, ci şi pentru a aprecia calitatea procesului de fabricare şi a modului în care se produce solidificarea. Prin examinare cu ultrasunete se obţin informaţii utile privind cantitatea de pulbere înglobată și gradul de porozitate rezultat, pe baza cărora se poate optimiza tehnologia de turnare**.**

Prin examinarea probelor turnate cu ultrasunete s-a urmărit atât detectarea defectelor specifice acestor materiale (fisuri, aglomerări de particule, incluziuni de altă natură, porozitate) cât și estimarea conţinutului de carbură de siliciu inclus în probe în raport cu volumul de particule planificat.

După alegerea componentelor sistemului de examinare: defectoscop, palpatoare, cabluri de legatură, cuplant, blocuri de calibrare a sistemului, s-au înregistrat oscilograme de referinţă pe probe martor cu o cantitate de particule cunoscută. Viteza ultrasunetelor care se propagă printr-un mediu neomogen depinde de rigiditatea și densitatea mediului. Pentru aluminiul pur viteza undelor longitudinale este de 6320 m/s.

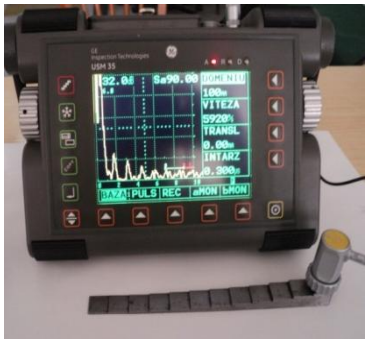
Ultrasunetele se propagă cu o viteză mai mare în compozitele din aluminiu ranforsat cu particule de SiC decât în aluminiu.

Creșterea vitezei longitudinale ar putea fi calculată cu ajutorul relațiilor care stabilesc dependenţa vitezei de modulul lui Young, densitatea materialului și de coeficientul Poisson. Într-o prezentare A-scan se evidenţiază deplasarea ecourilor repetate spre stânga în raport cu oscilograma de referinţă ca urmare a creşterii vitezei de propagare a ultrasunetelor odată cu creşterea cantităţii de particule de SiC înglobate în matricea din aluminiu**.**

Materialul de ranforsare - particule de SiC – determină o creștere semnificativă a rigidităţii în timp ce densitatea nu se modifică prea mult.

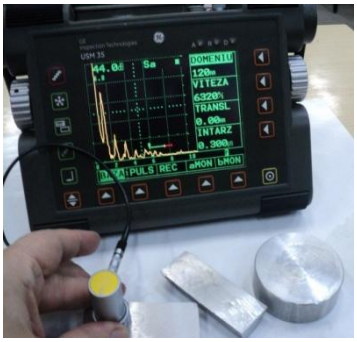
Examinarea cu ultrasunete poate pune în evidență proporția de carbură de siliciu înglobată, prin măsurarea vitezei de propagare.

În imaginile din figura 4 se evidenţiază creşterea vitezei de propagare a ultrasunetelor odată cu creşterea cantităţii de particule de SiC înglobate în matricea din aluminiu.



Calibrarea sistemului cu etalonul K3. Amplificarea a fost între 35 şi 55 dB.

Calibrarea pe blocul din aluminiu. Viteza undelor US de 6340 m/s.



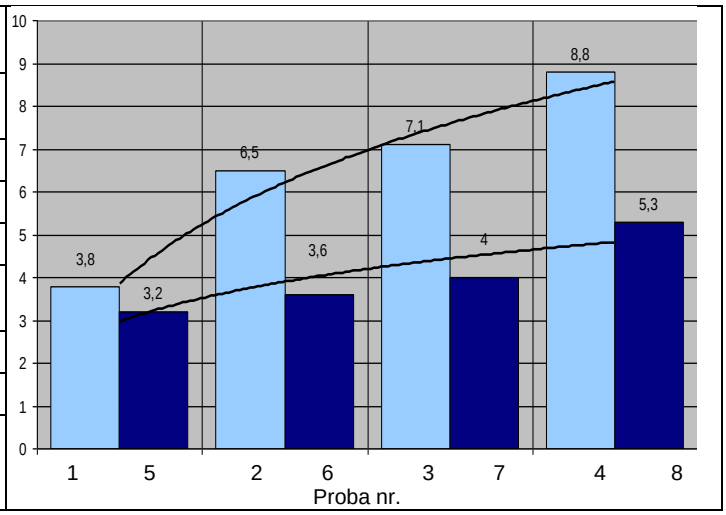
Creşterea vitezei de propagare de la 6340 la 6620 m/s, în proba cu 10% particule de SiC.

Fig. 4. Verificarea cantităţii de particule înglobate prin evidenţierea variaţiei vitezei de propagare a ultrasunetelor.

Încercările experimentale privind determinarea porozității, efectuate prin metoda arhimedică şi prin cântărire, au fost completate şi validate prin măsurarea atenuării intensității undelor ultrasonore pe probele turnate. Cercetările efectuate au evidențiat tendința de creștere a porozității odată cu creșterea proporției de particule și de reducere a acesteia odată cu mărirea vitezei de răcire (fig. 5).

Tabelul 1. Valorile porozității probelor analizate.

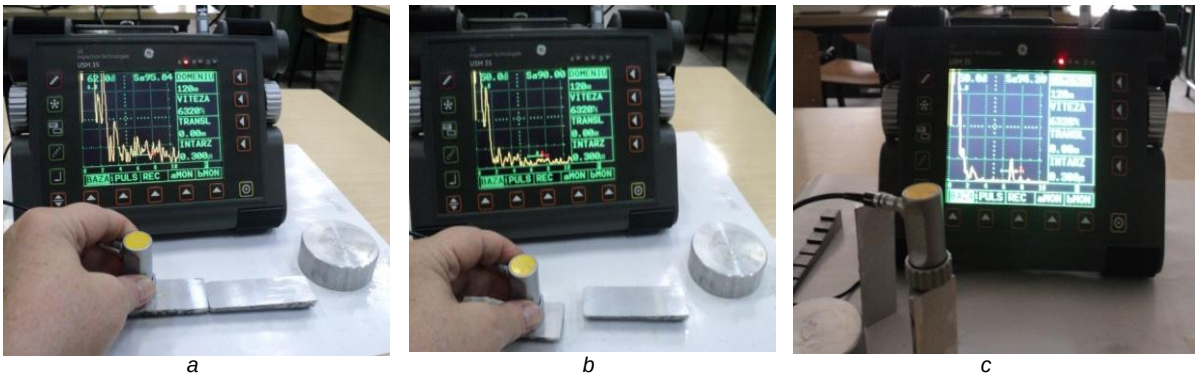
Nr crt	*Proba*	*Răcire*	*Porozitatea estimată, %*
1	Martor, Al fără SiC	în amestec	3,8
2	Al cu 5 % SiC		6,5
3	Al cu 7 % SiC		7,1
4	Al cu 10% SiC		8,8
5	Martor, Al fără SiC	pe placă din cupru	3,2
6	Al cu 5 % SiC		3,6
7	Al cu 7 % SiC		4,0
8	Al cu 10% SiC		5,3



În plus, verificarea ultrasonică a evidenţiat distribuţia zonelor cu porozitate maximă în raport cu axa longitudinală a probei (fig. 5).

Dacă prin metodele clasice de determinare a porozităţii nu se obţin informaţii privind distribuţia porilor şi variaţia acestei distribuţii în raport cu viteza de solidificare, prin examinarea cu ultrasunete se pot evidenţia și aceste aspecte.

Se evidenţiază variaţia porozităţii în raport cu conţinutul de particule înglobate şi variaţia poziţiei zonelor cu porozitate maximă în raport cu o axă de referinţă (axa probei).



a *b* *c*

Fig. 5. Verificarea porozităţii, evidenţiată prin reducerea amplitudinii semnalelor:
a - proba nr. 2; *b* – proba nr. 4; *c* – verificare axială.

5. Concluzii

Lucrările de cercetare efectuate în cadrul Universităţii Politehnica din București au condus la rezultate interesante și utile privind posibilitatea de a estima cantitatea de particule de carbură de siliciu înglobate prin turnare. Pentru verificări experimentale s-au realizat probe martor cu particule în cantităţi prestabilite și seturi de probe cu cantitaţi de particule variabile.

Examinarea cu ultrasunete a evidenţiat capabilitatea metodei de a semnala variaţii de circa 10% în privinţa cantităţii de particule înglobate.

De asemenea, s-au realizat probe cu porozităţi variabile cunoscute, determinate riguros prin alte metode, pentru care s-au obţinut oscilograme de referinţă. Cercetările au condus la concluzia că estimarea gradului de porozitate prin examinarea cu ultrasunete este comparabilă cu cea realizată prin alte metode (cântărire de precizie, de exemplu) care nu pot fi aplicate în cazul unor piese sau materiale cu dimensiuni mari.

Oscilogramele evidenţiază o distribuţie aproximativ uniformă a porozităţii în raport cu axa longitudinală a probei şi cu poziţia de turnare. Se observă o concentraţie ceva mai mare la partea de jos a probelor (porii care se formează în vecinătatea particulelor de SiC şi care au tendinţa de a segrega la partea de jos la viteze mici de solidificare) şi la partea de sus a probei, unde există o concentraţie mai mare de microretasuri (interdendritice).

Distribuția uniformă a particulelor este adeseori esențială în compozitele cu matrice de aluminiu ranforsate cu particule de SiC. Studiile făcute au arătat că există o tendință de grupare a particulelor și că direcția de răcire influențează distribuția finală a particulelor, cea mai mare concentrație de particule fiind găsită într-o zonă opusă suprafeței de răcire.

Bibliografie

[1] *D.R. Askeland*, The Science and Engineering of Materials. PWS-KENT Publishing Company, Boston, 1984.

[2] *Fl. Ştefănescu, G. Neagu, A. Mihai,* Materialele viitorului se fabrică azi. Materiale compozite. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1996.

[3] *G. Neagu, Fl. Ștefănescu, A. Mihai, I. Stan, I. Odagiu*. Theoretical and Practical Aspects Regarding Al -SiC Particle Composites Obtained by Casting. Advanced Materials and Structures, Solid State Phenomena, vol. 188 (2012), pp. 134 -139. Trans. Tehn. Publications, Switzerland.

[4] *Fl. Ştefănescu*, Compozite metalice turnate. Elemente de modelare, U.P.B., Romania, 1997.

[5] *Fl. Ştefănescu, G. Neagu, L. Brabie,* Characteristics Regarding the Solidification of Aluminium - Silicon Carbide Particle Composites*,* UPB-ICEM, Romania, October 26-27, 2000, pp. 365-370.

[6] ***Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, Ed. by J.R.Davis, Davis & Associates, 1993.

[7] *P.K. Rohatgi, F.M. Yarandi, Y. Liu*, Influence of Solidification Conditions on Segregation of Aluminum –Silicon Carbide Particle Composites, Chicago, Illinois, U.S.A., September 24-30, 1998.

[8] *I. Jin, D.J. Lloyd*, Solidification of SiC Particulate Reinforced Al-Si Alloy Composites, Montréal, Québec, Canada, September 17-29, 1990.

[9] *I. J. Odagiu*. "Cercetări privind materialele compozite din sistemul aluminiu – carbură de siliciu (particule) turnate", Teză de doctorat, U.P.B., 2014.

Instalaţii de control nedistructiv cu calibrare automată a sensibilităţii de examinare

(Nondestructive installations with automatic sensitivity calibration)

Teodor Trancă
NDT level III, DIAC SERVICII SRL teodortranca@yahoo.com

Abstract

This paper presents a critical analysis of the technical solutions automatic calibration facilities for ultrasound and eddy current control. Apart from advantages, are presented the main limitations that occur in some unusual practical cases.

1. Introducere

Ca o ultimă expresie a evoluţiei tehnologiei IT în domeniul controlului nedistructiv, în prezent există două concepte diferite în abordarea controlului efectuat cu instalaţiile automate, respectiv conceptul clasic, la care calibrarea sensibilităţii de examinare se realizează manual, de către operatori şi conceptul modern, la care această calibrare se efectuează automat, printr-un protocol executat autonom de către instalaţie, într-o fază evident anterioară controlului propriu-zis.

În principiu, **calibrarea manuală** implică două etape distincte:

Calibrarea statică, efectuată de către operatori pe unul sau mai multe blocuri de referinţă executate din acelaşi material, cu dimensiuni de gabarit reprezentative pentru semifabricatele examinate şi prevăzute cu reflectori de referinţă de dimensiuni şi forme în conformitate cu standardele de examinare prescrise în documentaţia de execuţie.

Setarea sensibilităţii de examinare se face prin scanarea succesivă in regim manual a acestor reflectori şi inregistrarea in memoria sistemului a semnalelor obţinute de le fiecare dintre aceştia, stabilind astfel prin tehnici specifice, un anumit nivel de referinţă al examinării.

În timpul controlului, semnalele provenite de la diferite discontinuităţi întâlnite în material vor fi automat comparate cu acest nivel de referinţă în vederea stabilirii admisibilităţii reperului controlat.

Calibrarea dinamică implică scanarea blocului de referinţă în regim de lucru şi compararea rezultatelor astfel realizate cu rezultatele obţinute în cursul calibrării statice. Se consideră ca satisfăcătoare situaţia când diferenţele între cele două calibrări sunt minime iar corecţiile se fac în sensul calibrării dinamice.

2. Calibrarea automată

Mai recent apărută, **calibrarea automată** este prezentă la instalaţiile de ultimă generaţie, destinate controlului semifabricatelor din producţia de serie mare sau de masă, în unităţi de producţie de mare capacitate. Avantajele teoretice ale acestei metode sunt mai mult decât evidente începând cu eliminarea (sau cel puţin implicarea la un nivel cât mai scăzut de calificare) a factorului uman în etapa atât de delicată a calibrării sensibilităţii de examinare. Diminuarea dependenţei procesului de control de calificarea și nivelul de experienţă al personalului operator a fost și este un deziderat permanent al procesului de producţie, absolut justificat din punct de vedere tehnic şi chiar şi organizatoric. Este suficient să menţionăm aici procedurile standard de formare și certificare a personalului operator, proceduri relativ lente, ca şi fenomenul de migrare permanentă a acestui personal care, o dată certificat, este dispus spre o permanentă reorientare pe piaţa muncii.

Calibrarea automată se realizează, de regulă, prin trecerea unui număr relativ redus de piese despre care ştim că sunt “bune”, prin instalaţia setată în prealabil pe meniul de autocalibrare.

Anumite caracteristici fizice ale materialului din care sunt confecţionate piesele sunt înregistrate în funcţie de metoda de control aplicată (ex: UT- proprietăţile ultraacustice, ET- caracteristicile magnetice și electrice etc). Nivelul de referinţă al examinării este stabilit folosind modele teoretice, independente de blocurile de referinţă tipice (ex: aplicarea prin soft a diagramelor AVG la controlul UT), relativ la aceste caracteristici de material şi la standardele de control aplicate.

2. Studiu de caz

Pentru exemplificare, vom analiza cazurile a două instalaţii aflate în funcţiune în două mari centre de producţie, respectiv o instalaţie de control cu EC pentru role cilindrice de rulmenţi aflată la *Uzina de Rulmenţi Bârlad* (fig. 1) și o a doua, destinată examinării ultrasonice a tablelor, din dotarea *ArcelorMittal-Galaţi* (fig. 2).

Fig. 1. Instalaţie de examinare cu curenţi turbionari.

Fig. 2. Instalaţie de examinare cu ultrasunete.

Deşi absolut diferite ca metodă de control, gabarit, tip semifabricate examinate şi chiar şi ca preţ, fiind de recentă generaţie, cele două instalaţii au în comun acelaşi nivel ridicat de integrare a soluţiilor moderne de automatizare şi sunt dotate cu programe ce permit calibrarea sensibilităţii de examinare fără intervenţia factorului uman.

În ceea ce priveşte instalaţia de control cu *curenţi turbionari*, calibrarea manuală ar implica existenţa unei piese–bloc de referinţă, cu defecte artificiale de mărime stabilită, pe care să se facă calibrarea defectoscopului (fig. 3). Defectoscopul astfel setat va respinge în timpul examinării orice piesă care nu corespunde comportamentului blocului de referinţă.

Fig. 3. Bloc de referinţă.

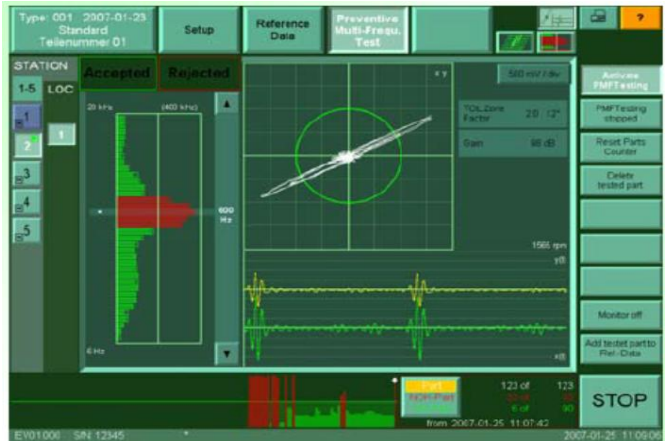


Fig. 4. Calibrarea defectoscopului pe rola cu fisură longidudinală.

Ex: Calibrarea defectoscopului pe rola cu fisură longitudinală implică setarea frecvenţei de examinare, a filtrelor, a amplificării şi a unghiului de fază aşa încât defectele similare defectului etalon să fie detectate optim (fig. 4). Este însă posibil ca alte tipuri de defecte (ex: pori) **să nu fie respinse.**

Calibrarea automată (*Preventive Multi-Filter Testing*) necesită folosirea a doar câteva piese bune pentru calibrare. Acestea sunt trecute prin instalaţie și analizate de către programul de calibrare automată. Defectoscopul va afişa o înfăşurătoare a semnalelor de zgomot de la aceste piese, formându-se 30 *zone de toleranţe* prin variaţia amplificării, a unghiului de fază și al filtrelor pentru fiecare din aceste zone. În timpul controlului, orice deviaţie de semnal care depăşeşte oricare din aceste zone, reprezentând nivelul de acceptare pentru fiecare din frecvenţele de explorare în parte, este declarată ca defect și piesa examinată este automat respinsă (fig. 5).

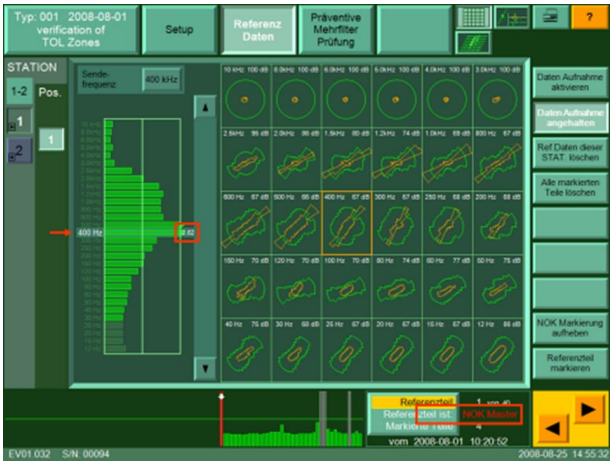


Fig. 5. Indicaţie de defect.

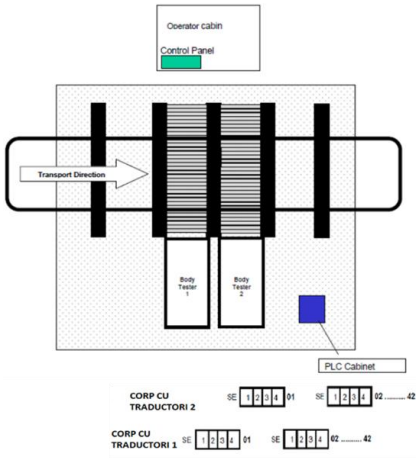


Fig. 6. Dispunerea traductorilor US.

Pentru *controlul cu ultrasunete*, am folosit spre exemplificare instalaţia de control UT table în domeniul 6-40 mm din dotarea companiei *ArcelorMittal-Galaţi*. Instalaţia este dotată cu un număr de 84 traductori ultrasonici cu câte 4 canale fiecare, dispuşi ca în fig. 6, aşa încât întreaga lăţime de laminare a unei table să fie acoperită. Toţi cei 84 de traductori sunt identici ca şi construcţie şi sunt verificaţi periodic în privinţa identităţii parametrilor lor de examinare.

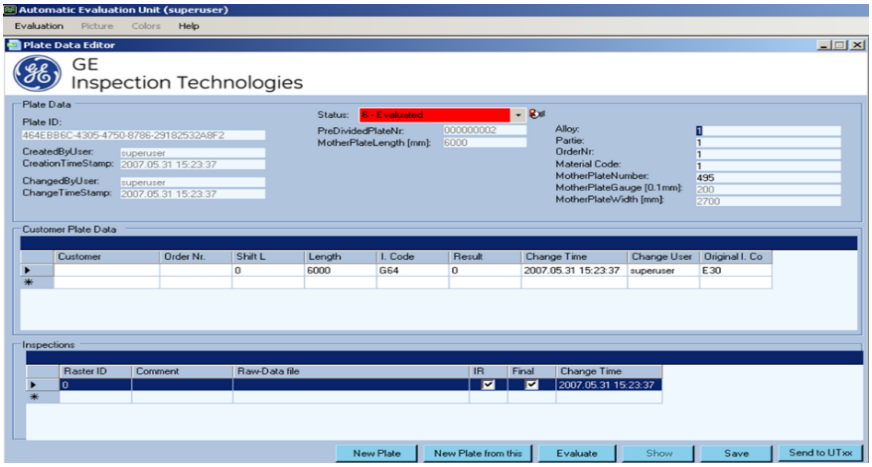


Fig. 7. Program Automat de evaluare a datelor.

Maşina e prevăzută cu un *Program Automat de Evaluare a Datelor* (AEU) unde sunt introduse datele determinante pentru trasabilitatea procesului, grosimea tablei și codul Standardului de Evaluare (fig. 7). Pe monitorul osciloscopic al instalaţiei (fig. 8) porţile se aşează automat pe baza de timp simultan cu calibrarea astfel:

- poarta galbenă şi cea verde pe al doilea, respectiv primul ecou de fund;
- poarta albastră, în care se înregistrează semnalele de la eventuale discontinuităţi, se aliniază automat cu partea din dreapta la primul ecou de fund de care este monitorizată, iar cu partea din stânga la o cotă corespunzătoare grosimii tablei examinate (valoarea acesteia a fost introdusă în prealabil în AEU - fig.7);
- poarta roşie corespunde poziţiei ecoului de intrare, monitorizând astfel cuplajul ultrasonic.

În acest mod, sensibilitatea de examinare se setează automat, pentru toate canalele la aceeaşi valoare a amplificării. Înregistrarea și evaluarea discontinuităţilor se face automat în poarta albastră, fie prin compararea ecoului de defect cu ecoul de fund, fie prin metoda celor 6 dB pentru defecte mai mari.

Rezultatele astfel obţinute sunt prezentate în formă grafică și tabelară (fig. 9) şi evaluate în raport cu standardul de calitate propus.

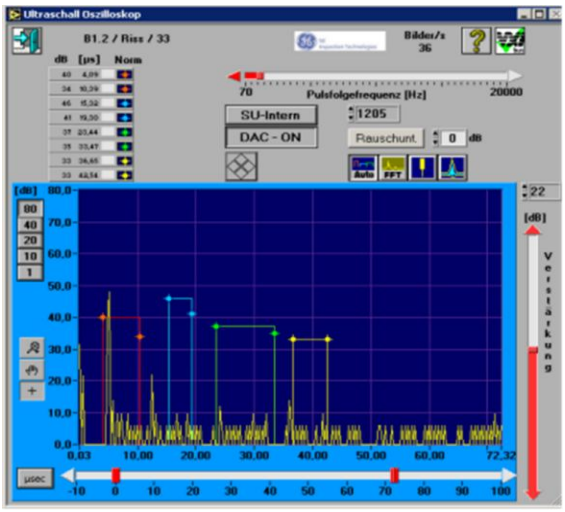
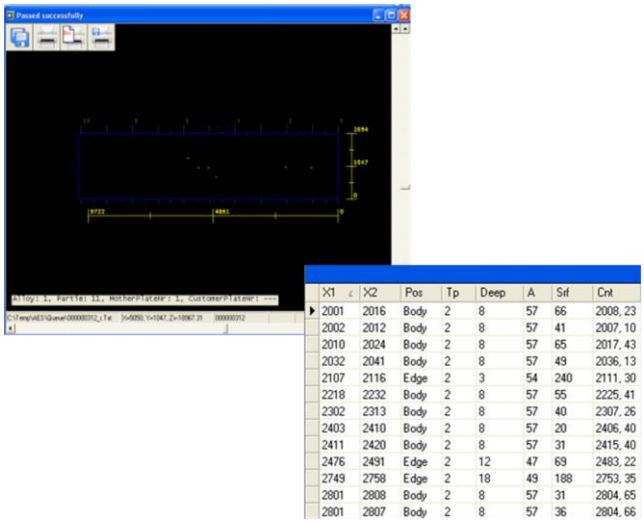


Fig. 8. Amplasarea automată a porţilor pe baza de timp simultan cu calibrarea.



X1	X2	Pos	Tp	Deep	A	Srf	Cnt
2001	2016	Body	2	8	57	66	2008, 23
2002	2012	Body	2	8	57	41	2007, 10
2010	2024	Body	2	8	57	65	2017, 43
2032	2041	Body	2	8	57	49	2036, 13
2107	2116	Edge	2	3	54	240	2111, 30
2218	2232	Body	2	8	57	55	2225, 41
2302	2313	Body	2	8	57	40	2307, 26
2403	2410	Body	2	8	57	20	2406, 40
2411	2420	Body	2	8	57	31	2415, 40
2476	2491	Edge	2	12	47	69	2483, 22
2749	2758	Edge	2	18	49	188	2753, 35
2801	2808	Body	2	8	57	31	2804, 65
2801	2807	Body	2	8	57	36	2804, 66

Fig. 9. Prezentarea rezultatelor

4. Concluzii

Avantaje ale calibrării automate

- Rapiditate şi precizie (se elimină cele două etape ale calibrării clasice).
- Operativitate ridicată la schimbarea tipodimensiunilor în timpul procesului de producţie.
- Posibilitatea de utilizare a personalului semi-calificat în productia de serie şi de masă.

Dezavantaje ale calibrării automate

- Dependenţa exagerată de variabilele de material pentru care a fost proiectat sistemul; dacă materialul examinat (sau blocul de referinţă) iese din limitele de valori luate iniţial în calcul, sistemul se blocheaza (erori de până la 30%).
- Depanare foarte complexă, necesitând un nivel de calificare foarte ridicat (uneori realizat numai de către reprezentanţă, cu costurile respective în timp și bani).
- Imposibilitatea revenirii la calibrarea manuală, atunci când calibrarea automată devine ineficientă.
- Dependenţa pronunţată de sistemele de calcul convenţionale, cu probleme de mentenanţă specifice.

Bibliografie

[1] MITTALSTEEL Romania-Operation Manuals Certificates Documentation Volume ¼ MSR – 327600
[2] PROCEDURA DE EXAMINARE AUTOMATA CU ULTRASUNETE A TABLELOR Cod: PD–LCND-022 – Rev. 0
[3] UTxx- Digital ultrasonic electronics- NUKEM
[4] Manual eddyvisor®SC 11 March 2009 (v03 en) ibg Doc: 0713431en
[5] The eddyvisor®C - New standard for production and laboratory

Inspecţia termografică în evaluarea umidităţii unor materiale folosite în construcţii

(Thermographic inspection in moisture analysis of some buiding materials)

Alexandrina Mihai, Florin Ştefănescu și Gigel Neagu
Universitatea POLITEHNICA din Bucureşti

Abstract

This paper presents a study of infrared thermography to wood moisture evaluation. The object of this research is to define the most reliable procedure to map the diffusion and to evaluate the moisture content of the wood construction. Because of the lower heat capacity of wood, the presence of water greatly affects the wood thermal capacity. Lab tests and some case studies show the advantages and the limits of IRT techniques. The results of researches developed in the IRT laboratory of the POLITEHNICA University of Bucharest demonstrate the sensitivity of the method in the moisture detection and evaluation of the main materials used in wood construction (fir and beech).

1. Introducere

Construcţiile din lemn sunt larg răspândite, întrucât prezintă numeroase avantaje: costuri reduse timp de execuţie scurt, mediu de viaţă sănătos, izolaţie termică și fonică bună, coeficient de dilatare liniară mic, consum de energie mic la prelucrare și calităţi estetice naturale foarte apreciate de utilizatorii tot mai numeroși. Din punct de vedere al principalelor caracteristici tehnice lemnul are un coeficient de calitate ridicat, și anume: raportul dintre greutatea materialului raportată la rezistenţa lui este comparabil cu cel al oţelului, fiind superior betonului și zidăriei.

Lemnul este larg folosit în construcţii cum ar fi (fig.1): biserici, mănăstiri, case de locuit, cabane de vacanţă, adăposturi pentru animale, construcţii anexă, componente ale unor structuri mixte, placaje ornamentale, construcţii ajutătoare (schele) ș.a.

Biserica din Mănăstirea Bârsanei, Maramureș, 1720.

Casă de vacanţa (imagine preluată de pe internet).

Construcţie anexă, magazie, grădină, comuna Berceni.

Fig.1. Construcţii din lemn.

Din cauza structurii celulare și a naturii sale organice, lemnul, ca material de construcţii prezintă si o serie de dezavantaje și anume: *defecte în structură*: noduri, crăpături, fibre deviate, pungi de rășină, găuri de insecte etc., care influenţează negativ proprietăţile mecanice; anumite sortimente sunt limitate dimensional, în funcţie de lungimea buștenilor; lemnul este un *material inflamabil*, necesitând măsuri de protecţie speciale contra incendiilor; variaţia umidităţii lemnului provoacă *umflarea*, *contragerea și deformarea* acestuia.

Având în vedere importanţa cunoașterii umidităţii lemnului, atât la proiecarea și la realizarea unei construcţii, cât și ulterior, pe toată durata vieţii acesteia, s-au dezvoltat diverse metode prin care se măsoară conţinutul de apă din lemn. Aceste determinări pot fundamenta măsurile necesare pentru menţinerea umidităţii la un nivel care să nu conducă la degradarea lemnului sau la apariţia unor efecte colaterale: ventilaţie, încălzire, tratare cu soluţii speciale sau măsuri speciale din proiectare (de exemplu suprapunerea parţială a scândurilor în magazia din figura1, pentru a preveni golurile ce pot apărea ca urmare a eliminării apei prin uscarea naturală asociată cu contragere).

Măsurarea umidităţii lemnului folosit în construcţii se face prin mai multe metode: *directe*, cum ar fi prin cântarire și comparare cu valori cunoscute ale greutăţii lemnului uscat, *indirecte* cu diverse aparate care măsoară conţinutul de apă prin influenţa acesteia asupra unei caracteristici fizice, cum ar fi rezistenţa electrică, viteza de propagare a ultrasunetelor sau prin folosirea unor reactivi de contact care evidenţiază prezenţa apei prin colorare sau reacţii chimice. Pentru măsurarea umidităţii unor suprafeţe mari ale unor structuri deja construite, o metodă eficientă, tot mai frecvent utilizată este termografia în infraroșu [1 - 5]. În această lucrare vor fi prezentate câteva concluzii obţinute în urma unor cercetări experimentale privind evaluarea umidităţii lemnului prin termografie.

2. Aspecte teoretice

Umiditatea lemnului reprezintă apa situată atât în membranele celulare cât și în golurile intercelulare. Apa din membranele celulare, sub formă lichidă și sub formă de vapori, reprezintă apa de constituţie sau apa legată [6,10].

Astfel, umiditatea globală a lemnului rezultă din:

- apa chimic legată - face parte din materia lemnoasă și poate fi scoasă doar prin ardere;
- apa legată din pereţii celulelor, care poate fi complet eliminată numai prin uscare în etuvă;
- apa liberă, care umple golurile intercelulare și vasele și care se poate pierde (elimina) ușor.

Lemnul verde, proaspăt tăiat, poate avea un grad de umiditate de peste 50%. Prin uscare se pierde mai întâi apa liberă ajungând la 25-30% umiditate, la punctul de saturaţie al fibrelor (rămâne doar apa higroscopică). În literatura de specialitate se precizează că, până la umiditatea de 6 % a lemnului are loc fenomenul de sorbţie moleculară. La umidităţi între 6 % și 15 % are loc fenomenul de sorbţie capilară în stare de vapori, iar la umiditate de la peste 15 % până la saturaţia fibrei are loc fenomenul de condensare capilară.

Din punct de vedere al conductivităţii termice, λ, a lemnului uscat (sub 20% umiditate), acesta se poate considera un material bun izolator termic (λ = 0,14….0,21 W/m.K). Perpendicular pe fibre, λ este cu mult mai mic decât paralel cu acestea.

Conductivitatea termică depinde de densitatea lemnului şi de umiditatea lui.

Conductivitatea termică a materialelor capilaro-poroase crește o dată cu creșterea umidităţii, fenomen ușor de explicat prin faptul că valoarea conductivităţii apei este mult diferită de cea a aerului:

λ = 0,55 W/(m.K) – apă în stare lichidă;

λ = 2,21 W/(m.K) – apă în stare solidă;

λ = 0,0257 W/(m.K) – aer uscat.

Înlocuirea aerului din pori cu apă duce la creşterea conductivităţii termice, cu atât mai accentuată, cu cât porozitatea este mai mare.

Conductivitatea termică a materialelor poroase scade cu creșterea porozităţii (a densităţii aparente), tinzând către conductivitatea termică a aerului (la o anumită temperatură).

Conductivitatea acestor materiale se poate calcula cu relaţia:

$$\lambda = \lambda_m \frac{1-\left(1-\frac{3\lambda_p}{2\lambda_m+\lambda_p}\right).\varepsilon}{1+\left(\frac{3\lambda_m}{2\lambda_m-\lambda_p}-1\right).\varepsilon}$$

unde: λ_m este conductivitatea materialului propriu zis,
λ_p - conductivitatea fluidului din pori,
ε - fracţia de goluri a materialului.

Pierderile de căldură printr-un perete umed sunt de până la trei ori mai mari decât cele printr-un perete uscat. La esenţele uzuale, contragerea și umflarea lemnului la variaţii de umiditate sunt: pe direcţia lungimii fibrelor de cca. 0,1 %; pe direcţia radială, 3...6 % și pe direcţia tangenţială, 6...12 %.

Umiditatea lemnului, *U*, este definită prin raportul dintre masa apei conţinute de lemn și masa lemnului uscat [8, 12, 13]:

$$U = (M_{um} - M_{us})/M_{us} \times 100 \quad [\%].$$

unde: M_{um} este masa lemnului în stare naturală, neuscat și M_{us} este masa lemnului uscat.

În afară de riscul apariţiei unor crăpături sau fisuri provenite din contracţie, o problemă importantă determinată de umiditate este dezvoltarea ciupercilor, care conduc la putrezire. Putrezirea poate

conduce la distrugerea totală a celulozei prin descompunerea ei în bioxid de carbon și apă. Putrezirea se produce sub efectul unor ciuperci aerobe ce se dezvoltă în condiţii de existenţă a umidităţii peste umiditatea de saturaţie și de temperatură între 0 și 50°C.

Dezvoltarea ciupercilor are loc atunci când umiditatea lemnului depăşeşte 20% şi uneori în cazul absenţei luminii, a unei ventilaţii necorespunzătoare şi în prezenţa unui mediu alcalin. Există ciuperci care provoacă putrezirea lemnului din pădure sau din depozite, denumite ciuperci de depozit şi ciuperci de casă cum sunt: Stereum, Leuzites şi Paniophora. Cea mai periculoasă grupă de ciuperci este cea care provoacă putrezirea lemnului de construcţie din care fac parte: *Fibroporia vaillantii*, *Fomitopsis rosea*, *Gloeophyllum sepiarium* (fig. 2), *Merulius lacrymans*, *Polyporus vaporarius* ș.a.

Sub acţiunea ciupercilor, caracteristicile sunt afectate negativ și construcţiile se degradează rapid până la distrugere [14].

Fibroporia vaillantii este o ciupercă de lemn de pin care duce la modificări de culoare (maro) și contracție de lemn.

Fomitopsis rosea se fructifică pe lemn vechi prelucrat, de mari dimensiuni, în interiorul clădirilor.

Gloeophyllum sepiarium este o ciupercă de lemn care cauzează putregaiul brun. Creşte în zone întunecate pe conifere.

Fig. 2. Ciuperci de lemn favorizate de prezenţa apei [14].

Normele europene recomandă pentru umiditatea lemnului următoarele valori [13]:

- 9%±3%, la construcţii închise, încălzite;
- 12%±3%, la construcţii închise, neîncălzite;
- 15%±3%, la construcţii deschise dar acoperite;
- ≥ 18%, la construcţii supuse intemperiilor.

Inspecţia termografică poate asigura detecţia zonelor cu umiditate cu un grad de certitudine comparabil cu alte metode, prezentând însă avantajul unei investigaţii eficiente în cazul suprafeţelor mari. Analiza radiaţiei termice necesită mai întâi o analiza teoretică a propagării căldurii.

Transferul de căldură staţionar prin pereţi multistrat cu următoarele condiţii la limită:

- perete din n straturi, cu temperaturile suprafeţelor exterioare T_1 şi T_2;
- grosimea unui strat este l_i;
- conductibilitatea termică a unui strat λ_i;
- α_1, α_2 - coeficienţi globali de transfer prin convecţie şi radiaţie;

este descris de relaţiile: $Q = (T_1 - T_2).1/R_t$, unde: R_t este rezistenţa termică [3].

Pentru un perete plan: $$R_t = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}.$$

Pentru un perete cilindric: $$R_t = \frac{1}{\alpha_1 \cdot l_1^2} + \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i} . \ln \frac{l_{i+1}}{l_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot l_{n+1}}.$$

Pentru un perete sferic: $$R_t = \frac{1}{\alpha_1 \cdot l_1^2} + \frac{1}{2\lambda}\left[\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2}\right] + \frac{1}{\alpha_2 \cdot l_2^2}.$$

În construcţiile deja finalizate sau chiar vechi este importantă cunoașterea umidităţii pentru a se adopta măsuri de menţinere a conţinutului de apă la un nivel care să nu permită dezvoltarea unor ciuperci sau manifestarea altor fenomene negative. Inspecţia termografică asigură o evaluare rapidă a

umidităţii unor suprafeţe mari și fundamentarea unor măsuri: ventilaţie, încălzire, modificări constructive.

3. Experimente

Pentru partea experimentală s-au folosit: cameră termografică, umidometre electrice, etuvă pentru uscare în mediu controlat, cântar de laborator și seturi de probe din lemn de brad, fag și balsa (fig. 3).

Cameră SC 640 FLIR, sensib. termică min. 0.06ºC la 30ºC, detector FPA, dom. spectral: 7.5…13 μm, IFOV 0.65 mrad, analiza imaginilor în timp real.

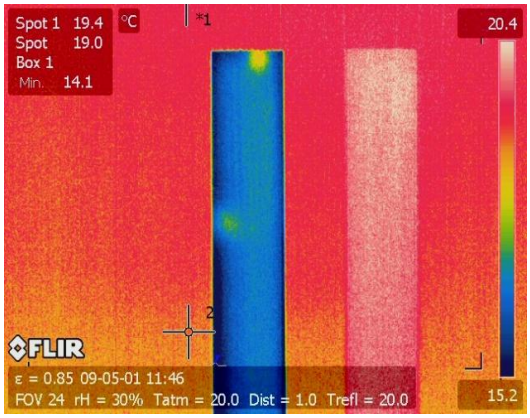
Seturi de probe din:
- lemn de brad cu dimensiuni 47x20x300 mm și greutatea, în stare uscată în etuvă, de 108 g;
- lemn de fag cu dimensiuni 45x45x250 și greutate 338 g;
- lemn de balsa cu dimensiuni 102x10x246 și greutate 32 g

Fig. 3. Echipament și probe utilizate pentru experimente.

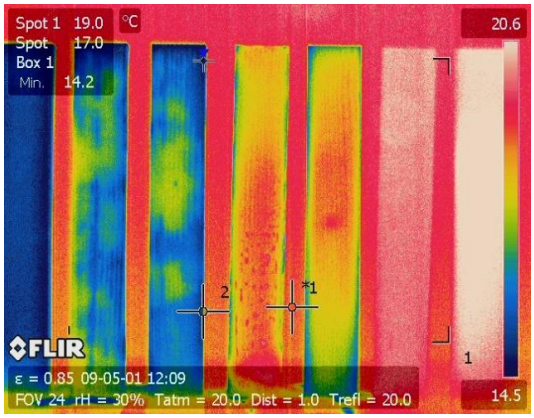
Experimentele efectuate au avut ca obiective:
- stabilirea parametrilor de examinare specifici condiţiilor: examinare în interior, în exterior, în condiţii de zi sau în condiţii de noapte, suprafeţe lucioase sau mate;
- studiul comportamentului termic al unor esenţe din lemn pentru a stabili criteriile de evaluare;
- analiza contrastului și a momentului optim de înregistrare a imaginilor termice;
- obţinerea unor termograme de referinţă pentru o gamă de materiale folosite uzual în construcţii;
- stabilirea nivelului de sensibilitate a metodei termografice în evaluarea gradului de umiditate.

Pentru stabilirea schemei adecvate de examinare, determinarea momentului optim de înregistrare, optimizarea parametrilor de examinare pentru probele din lemn s-au efectuat determinări preliminare care au constat în realizarea unor probe martor, probe cu umiditate variabilă: între 40 și 50%, (umiditate de saturaţie) și minimum posibil prin uscare în etuvă, între 6 și 12%.

În figura 4 sunt prezentate termogramele obţinute pentru probe din lemn de brad.



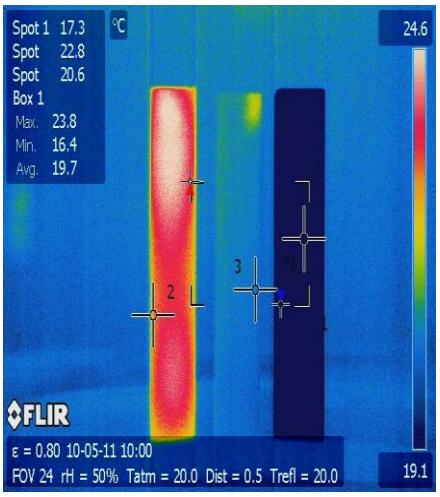
Probe din lemn de brad cu umiditatea de 30% (stânga) și 15 % (dreapta).



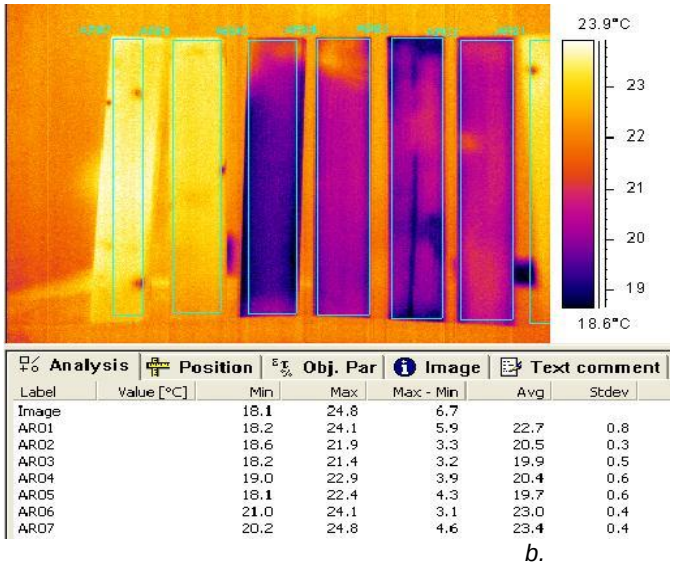
Probe din lemn de brad. De la stânga la dreapta, umiditatea variază de la 35 % la 10%

Fig. 4. Imaginile termice ale probelor din lemn de brad cu umiditate variabilă, cunoscută, controlată și validată prin alte metode (cântărire și măsurare cu umidometru electric)

Imaginile evidenţiază capabilitatea metodei termografice de a diferenţia variaţii ale umidităţii de 5 % și, din analiza paletei de culori și a diferenţei de temperatură aparentă reiese în mod clar posibilitatea de a evidenţia diferenţe de umiditate de până la 1%. Termogramele din figura 5 relevă posibilitatea de a prelucra informaţia cu un soft specializat care afișează valori medii ale temperaturilor aparente pe o suprafaţă preselectată.



a.



b.

Fig. 5. Variaţia temperaturii aparente în funcţie de gradul de umiditate pentru probele din lemn de brad: *a* - de la stânga la dreapta: probă uscată în etuvă (U=6%), uscată în aer (U=15%), probă cu umiditate maximă (U=35%); *b* - de la stânga la dreapta 1, 2 uscate normal, 3 umiditate maximă, 4, 5 și 6 cu umiditate variind între 30 și 35% și 7 probă uscată în etuvă.

În figura 6 sunt prezentate termogramele obţinute pentru probe din lemn de fag cu evidenţierea variaţiei temperaturii aparente de-a lungul unei linii, selectate pe diagonala probelor.

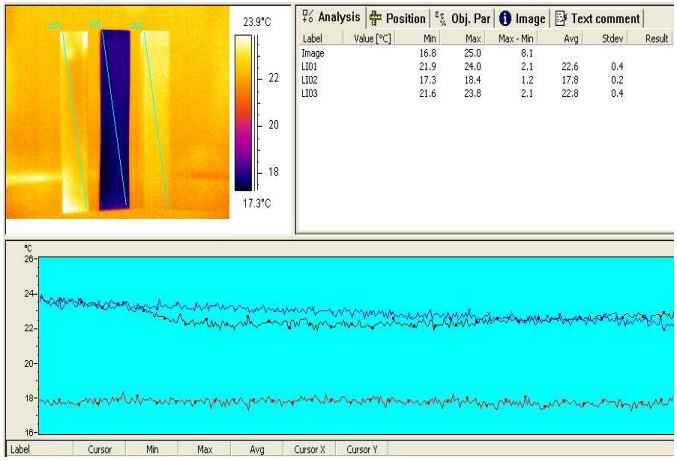


Fig. 6. Termograma a 3 probe din lemn de fag, de la stânga la dreapta: uscată natural, în aer (U=10%), cu umiditate la nivel de saturaţie (U=45%) și cu umiditate minimă, probă uscată forţat (U=8%).

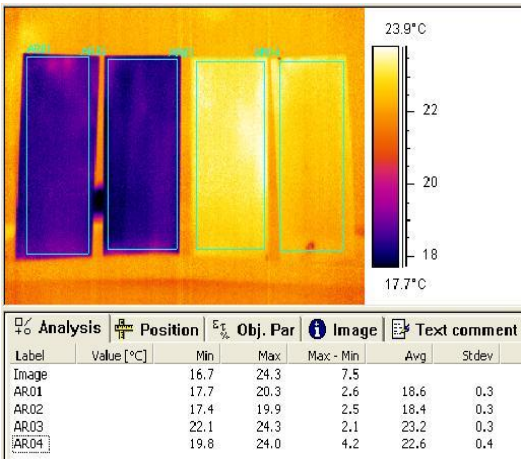


Fig. 7. Termograma probelor din lemn de balsa, de la stânga la dreapta, probele 1 și 2 cu umiditate de 54...56%, proba 3 – cu umiditate de 8% și proba 4 – cu umiditate de 10 %.

În figura 7 este prezentată o termogramă reprezentativă pentru probele din lemn de balsa. Lemnul de balsa, are ca principală particularitate, o cantitate mică de materie solidă, o structură celulară cu pereţi subţiri și goluri mari, astfel că doar cca 40% din volumul total este materie solidă.

Arborele de balsa verde conţine de 5 ori mai multă apă comparativ cu alte specii de lemn.

Uscarea lemnului de balsa este un proces care durează în general 2 luni, interval în care apa conţinută în lemn este eliminată pe cale naturală până la 6%.

4. Concluzii

Cunoașterea umidităţii este importantă în domeniul construcţiilor din lemn pentru fundamentarea unor măsuri preventive sau corective în timp util, înainte de dezvoltarea ciupercilor sau a coloniilor de insecte. Măsurile preventive structurale au ca scop limitarea conţinutului de umiditate din lemn prin reducerea riscului de pătrundere a apei şi prin crearea condiţiilor de evacuare rapidă a umidităţii (în cazul umezirilor temporare) astfel încât să se evite depăşirea limitei de umiditate de 20% sau să se limiteaze zonele umezite. Măsurile structurale trebuie să aibă în vedere în mod deosebit locul de amplasare a elementelor (exterior, interior, în contact cu solul, în contact cu alte elemente de construcţie etc.) din care rezultă majoritatea surselor care produc umezirea.

Viteza de sorbţie și desorbţie a umidităţii lemnului este determinată de viteza de pătrundere a moleculelor apei în lemn și în membranele celulare, adică de *difuzia* apei în lemnul propriu-zis și în pereţii celulari. La o umiditate iniţială a lemnului de 20%, valoarea coeficientului de difuzie în lemnul coniferelor este 4.10^{-7} cm^2/s. Cu creșterea temperaturii, coeficientul de difuzie crește proporţional cu presiunea vaporilor saturaţi ai apei la temperaturile corespunzătoare.

Experimentele au evidenţiat următoarele aspecte:

- Inspecţia termografică permite evidenţierea umidităţii lemnului cu o sensibilitate bună, comparabilă cu cea a altor metode, cântărire sau măsurare punctuală cu umidometru pe principiul variaţiei unei rezistenţe electrice.
- Lemnul folosit uzual în construcţii (brad, fag) are o emisivitate relativ mare (0,85 – 0,95) și din acest motiv se pretează bine la examinarea termografică.
- Viteza de propagare a căldurii prin lemn este mică, ceea ce asigură o perioadă de timp suficient de mare pentru vizualizarea perturbaţiilor și înregistrarea rezultatelor.
- Dacă în condiţii de laborator, inspecţia termografică asigură evidenţierea variaţiilor de umiditate de 1 - 2%, în condiţii de exterior există unele elemente perturbatoare care pot afecta sensibilitatea metodei. Astfel, de exemplu, în cazul examinării în exterior, apar o serie de reflexii întâmplătoare ale radiaţiei solare sau ale radiaţiilor provenite de la surse învecinate, ceea ce complică interpretarea termogramelor.
- Când examinarea se efectuează în exterior, pentru a evita efectele negative ale radiaţiei solare și ale reflexiilor întâmplătoare examinarea prin termografie pasivă se recomandă a fi utilizată după ce soarele a apus; în acest caz, este de remarcat faptul că zonele umede se vizualizează, folosind aceeași paleta de culori, ca zone mai “calde” decât cele uscate, ca urmare a inerţiei termice mai mari.
- Pentru examinarea unor suprafeţe mari, se recomandă utilizarea unui ansamblu de metode și anume: detecţia zonelor cu umiditate peste limita admisibilă (18-20%) prin termografie, urmată de verificarea și validarea locală cu ultrasunete sau prin metode electrice.

BIBLIOGRAFIE

[1] Ludwig, N., *Moisture detection in wood and plaster by IR thermography*, Institute of General Applied Physics, Milan, Italy, 2009, http://www.sciencedirect.com

[2] Avdelisi, N.P., Redaelli, V., a.a. *A thermographic survey for the monitoring of moisture in porous stone*, National Technical University of Athens, Athens, Greece, 2009, www.ndt.net/article/

[3] Mihai, A., *Termografia în infraroşu*, Ed. Tehnică, 350 pages, Bucharest, 2005.

[4] Wilson, M., *Moisture Control in Buildings*, Environmental Building News, Volume 12, Number 7, July 2006

[5] Maldague, X.P. *Theory and Practice of Infrared Technology for NDT* John Wiley & Sons, 2001.

[6] Pellerin, R. F. and R. J. Ross. *Nondestructive Evaluation of Wood.* Madison, Wisc.: FPS, 2002.

[7] Fengel, F., Wegener, G.: *Wood – Chemistry, Ultrastructure, Reactions*, Verlag N. Kessel, Reprint 2003,

[8] Hoadley, R. B., *Holz als Werkstoff*, O. Meier Verlag, Ravensburg 1990, ISBN 3-473-42560-5.

[9] ASTM. *Standard Practice for Location of Wet Insulation in Roofing Systems Using IRT.* C 1153 - 2003.

[10] Mihai, A., *Quality Control of Composite Material Pipes by Infrared Thermography*. Solid State Phenomena, Volume 188 (2012), Advanced Materials and Structures IV pp 140-143. Trans Tech Publications, Switzerland

[11] Mihai, A., Composite *Materials, Flaws Detection and Measurement by Infrared Thermography*, Conferinta Internationala, QIRT 2014, 7 – 11 iulie, 2014, Bordeaux, Franta.

[12] http://silvic.usv.ro/cursuri/protectia_lemnului.pdf

[13] Furdui, C., *Construcţii din lemn și elemente de calcul*, Timișoara, Editura Politehnică - 2007.

[14] http://tratamentciupercidelemn.weebly.com/info.html

Total Control S.R.L.

Echipamente pentru examinări nedistructive şi testări de materiale

Calea Călăraşilor nr. 38 corp B, 030624 Bucureşti 3
Tel. : 021 6193054, 031 4256155, 0371 135960, 0735 785177
Fax : 021 2123151, 0372 891128
Mobil : 0722 251434, 0726 196869
E-mail : office@tcontrol.ro, Web : www.tcontrol.ro

TÜV CERT
DIN EN ISO 9001:2008
Certificate No. 2010072002173

GE
Inspection Technologies

Certificat ISO 9001

(Krautkrämer, Seifert, Hocking, Stresstel, Agfa NDT, Rightrax, Everest VIT)

- Aparate şi instalaţii de defectoscopie ultrasonică (în mod convenţional, Phased Array şi TOFD)
- Aparate şi instalaţii de defectoscopie cu curenţi turbionari
- Aparate şi instalaţii de măsurare a grosimii materialelor
- Instalaţii fixe pentru monitorizarea grosimii conductelor acoperite (Rightrax)
- Aparate portabile de măsurare a conductivităţii metalelor cu curenţi turbionari
- Aparate portabile de măsurare a durităţii materialelor
- Aparate pentru măsurări speciale (ex. nodularitate, tensiuni în organe de asamblare etc.)

- Aparate (RX) şi instalaţii (TVX) de control nedistructiv şi aplicaţii de securitate cu radiaţii X în domeniul 30 - 450 KV
- Aparatură staţionară de potenţial constant pentru aplicaţii de defectoscopie sau cercetare
- Orice accesorii pentru laboratorul de radiaţii X sau Gamma
- Aparatură de difracţie RX
- Aparatele au ASR în România (CNCAN)

- Filme, chimicale şi procesoare pentru radiografii industriale
- Radiografie digitală şi computerizată, tomografie RX

- Aparate şi instalaţii pentru endoscopie / control vizual (borescoape rigide, videoendoscoape, fibroscoape flexibile, surse de lumină, roboţi video, accesorii etc.), în lumină albă şi UV

oserix

Certificat ISO 9001
Instalaţiile au ASR în România

- Instalaţii pentru control nedistructiv cu radiaţii Gamma, construite şi certificate după cel mai nou ISO 3999
- Instalaţii EXERTUS cu Co60, Ir192, Se75 etc.
- Echipamente pentru aplicaţii speciale (colimator de proximitate, sistem GAMMASAFE etc.)
- Accesorii pentru EXERTUS, Gammamat, Sentinel, TechOps ...

vallen systeme

Certificat ISO 9001

- Sisteme mono şi multicanal pentru exeminare nedistructivă cu emisie acustică
- Senzori, preamplificatoare şi accesorii
- Instrumente pentru verificarea echipamentelor
- Software

BUEHLER

Certificat ISO 9001

- Echipamente şi consumabile pentru prepararea probelor (metalografice, petrografice) pentru analiza microstructurală : debitare, înglobare, polizare, şlefuire, ultrafinisare, curăţire etc.
- Echipamente de captură, documentare, arhivare, interpretare şi sisteme de analiză automată a imaginii cu PC
- Durimetre şi microdurimetre staţionare (HV, HR, HB, HK etc.)
- Sisteme automate pentru măsurarea durităţii

TOTAL CONTROL S.R.L. vă mai oferă, uzual din stoc :

Lichide penetrante, pulberi şi suspensii de particule magnetice (MR-CHEMIE Germania).
Aparate simple (juguri ca/cc), instalaţii (cabinete, surse transportabile şi bancuri de test staţionare) şi accesorii pentru controlul nedistructiv cu lichide penetrante sau magnetic (K+D FLUX-TECHNIC Germania, WESTERN INSTRUMENTS Canada, PARKER SUA, MR-CHEMIE Germania etc.).
Lămpi ultraviolete sau cu lumină albă pentru examinări nedistructive (LABINO Suedia, MR-CHEMIE Germania, K+D FLUX-TECHNIC Germania etc.), inclusiv portabile.
Truse şi diverse accesorii pentru examinări vizuale.

INFORMAŢII • ŞTIRI • OPINII

Inspecţia cablurilor din sârmă împletită de oţel – Metoda câmpului magnetic de scăpări (MFL)

(Steel Wire Rope Inspection - Magnetic Field Leakage Method)

Mugurel-Dorian Vrapciu

Nivel III – RT, UT, MT, PT/SNT TC-1A

Abstract

Wire steel ropes are special consumable items with limited service life. During function of equipment based on wire steel ropes, the rope loading capability gradually decreases. The special feature of wire steel ropes is coming from their applications: transportation of persons and goods, bearing of steel structures, etc.. It means that consequences of system failure are very dangerous and costly, therefore periodic assessment of ropes integrity is stringent. The inspectors must be aware of damage mechanism of steel ropes and they need to be up to date about applicable examination methods and related limitations. Visual and magnetic field leakage methods are valuable tools for evaluation of technical condition of wire steel ropes.

1. Introducere

Cablurile din sârmă de oţel sunt folosite pe scară largă, de la banalul lift al blocului în care locuim, la teleferice, funiculare, poduri suspendate şi echipamente de transport/ridicare supra sau subterane. Această diversitate de utilizări, datorată unor soluţii constructive relativ simple şi rapid puse în practică, implică supravegherea atentă a stării tehnice a cablurilor pe durata utilizării acestora. Cablurile din sârmă sunt ceea ce numim ‘consumabile’ în limbajul curent, fiind supuse degradării printr-o varietate de mecanisme. Deşi nu par, cablurile sunt structuri complexe, relativ costisitoare, deci momentul potrivit pentru înlocuire devine o problemă majoră. Întârzierea înlocuirii cablurilor uzate poate fi premiza unor accidente periculoase, dar înlocuirea lor nejustificată implică cheltuieli nerezonabile.

Ieşirea din această dilemă este inspecţia tehnică periodică, atât cât este necesar să se cunoască starea tehnică a cablurilor aflate în utilizare.

2. Mecanisme de deteriorare a cablurilor din sârmă de oţel

Cauze frecvente ale degradării cablurilor sunt: solicitarea la oboseală, frecarea, coroziunea, solicitarea mecanică determinată de exploatarea incorectă şi supraîncălzirea. Adesea, acestea se combină şi accelerează imprevizibil uzura [1].

2.1. Uzura produsă de solicitarea la oboseală

Îndoirea repetată a cablului pe scripeţi sau tamburi, combinată cu solicitarea axială a acestora, produce ruperea graduală a firelor de sărmă [2]. Pentru cabluri cu structură simplă, ruperea sârmei apare mai ales în zonele de contact ale cablului cu suprafaţa de rulare, la început izolat, apoi cu extindere progresivă pe lungimi mari şi o densitate liniară tot mai mare (Fig. 1). Degradarea este accelerată de pierderea de material prin frecarea cablului cu scripetele sau frecarea cablurilor între ele, la rularea pe tambur.

Fig. 1. Cablu cu fire de sârmă rupte prin solicitare la oboseală – se observă afectarea predilectă a firelor de sârmă deteriorate prin frecare.

De obicei, aceste rupturi sunt exterioare, deci detectabile la examinarea vizuală. În cazul structurilor multistrat (Fig. 2), rupturile apar mai ales la interfaţa dintre primul şi al doilea strat al cablului. Tipul constructiv din Fig. 2 are multiple avantaje, cele mai importante fiind limitarea rotirii axiale a cablului şi

un profil rezistent la uzură. Problema este că în timpul utilizării firele de oţel din straturi adiacente vin în contact şi se freacă unele de altele, fiind solicitate la eforturi radiale, axiale şi de îndoire de intensitate variabilă şi diferită de la strat la strat.

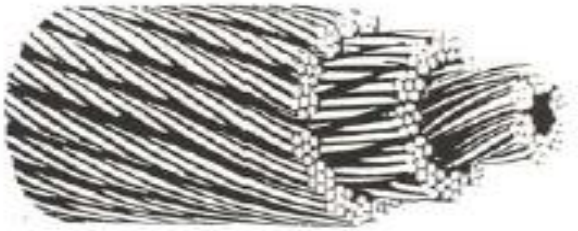


Fig. 2. Cablu cu structură multistrat [2]

Faza incipientă a degradării cablului constă în apariţia de crestături [2] pe firele aflate la interfaţa dintre primele două straturi (Fig. 3).

Fig. 3. Crestături pe firele aflate la contactul dintre stratul exterior şi primul strat interior.

Odată cu trecerea timpului, crestăturile conduc la rupturi ale firelor afectate (Fig. 4), cu reducerea progresivă a portanţei cablului [2].

Fig. 4. Ruperea firelor cablului din al doilea strat.

Aceste deteriorări sunt cu atât mai periculoase cu cât nu sunt vizibile la inspecţia vizuală. Cablul poate arăta impecabil la exterior, deşi rezistenţa acestuia este considerabil diminuată (Fig. 5).

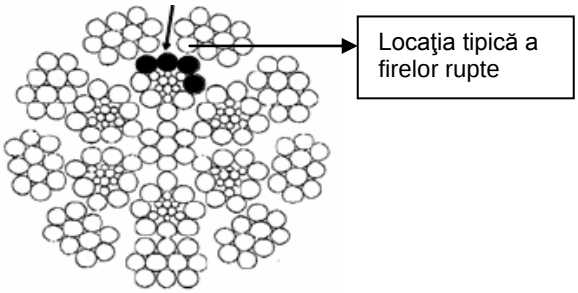


Fig. 5. Poziţia firelor rupte la cabluri multistrat [2].

2.2. Uzura produsă de frecare

Frecarea conduce la diminuarea secţiunii cablului şi creşterea progresivă a tensiunii mecanice la care acesta este supus în timpul utilizării. Un caz frecvent este acela al cablurilor care se înfăşoară

peste tamburi în straturi multiple. Pentru primul strat nu sunt probleme deosebite, acesta venind în contact cu suprafaţa netedă a tamburului. Următoarele straturi se înfăsoară peste suprafaţa rugoasă a straturilor de cablu deja înfășurate, cele interioare fiind supuse la abraziunea straturilor vecine [2]. Acest efect se accentuează dacă straturile înfășurate la interior sunt mai slab tensionate decât cele care se înfăşoară peste ele, producându-se astfel o mişcare relativă a straturilor de cablu (Fig. 6).

Fig. 6. Deteriorări ale cablului produse de înfăşurarea multistrat pe tambur [2].

2.3. Uzura produsă de coroziune

Coroziunea poate acţiona atât la exteriorul cât şi la interiorul cablului, local (‘pitting’) sau generalizat, şi are acelaşi rezultat ca şi uzura prin frecare: diminuarea secţiunii portante a cablului. Acest mecanism de deteriorare afectează mai ales cablurile neprotejate, fabricate din sârmă negalvanizată şi/sau insuficient lubrifiate în timpul utilizării [1].

2.4. Uzura produsă de utilizarea incorectă

Exploatarea incorectă a cablurilor poate produce diverse deteriorări evidente ale cablurilor: ondulaţii, deformări locale, noduri, deplasări ale firelor sau subţieri locale (Fig. 7). Suprapunerea acestora cu celelalte mecanisme de deteriorare poate concura la avarii impredictibile.

Fig. 7. Deteriorări ale cablului produse în urma utilizării incorecte [3].

2.5. Uzura produsă de utilizarea în afara domeniului de temperatură recomandat

Utilizarea cablurilor din sârmă la temperaturi de peste 250 ^{0}C conduce la diminuarea drastică a rezistenţei mecanice [3]. Cablurile supuse la temperaturi ridicate o perioadă mai lungă de timp suferă degradări ireversibile, deoarece curgerea materialului are loc la sarcini mai mici decât cele prevăzute pentru utilizarea normală. Nici temperaturile scăzute de exploatare nu sunt benefice, acestea influenţând negativ lubrifiantul depus pe cablu [3]. În astfel de cazuri, forţa de frecare asupra cablului creşte, cu diminuarea accelerată a secţiunii portante.

3. Inspecţia cablurilor din sârmă de oţel

Inspecţia cablurilor se realizează prin două metode: examinarea vizuală, incluzând măsurarea dimensională directă, şi metoda fluxului magnetic de scăpări.

3.1. Examinarea vizuală

Atât timp cât suprafaţa exterioară a cablului este accesibilă, examinarea vizuală este o metodă de inspecţie relativ ieftină. Mijloacele ajutătoare sunt din cele mai simple (lupe, oglinzi, şabloane, şubler) şi permit detectarea firelor rupte, zonelor corodate, deformărilor, subţierilor, etc.. Dezavantajul evident este imposibilitatea detectării degradării la interiorul cablului. Productivitatea acestei metode este scăzută,

impune curăţarea stratului de lubrifiant şi, în plus, implică subiectivismul inspectorului în decelarea uzurii normale de uzura inacceptabilă pentru utilizare. Metoda este drastic limitată în cazul cablurilor acoperite cu strat de protecţie [1].

3.2. Metoda fluxului magnetic de scăpări

Această metodă foloseşte magneţi foarte puternici, capabili să aducă cablul în zona de saturaţie a curbei de histerezis, şi senzori Hall sau bobine, care detectează câmpul magnetic de scăpări produs de imperfecţiuni locale (fire rupte) sau reducerea secţiunii metalice a cablului (prin abraziune, coroziune, etc.) [4]. În timpul examinării, cablul trece prin capul de testare (Fig. 8) şi alunecă pe sub senzorul dimensionat în corelaţie cu diametrul cablului.

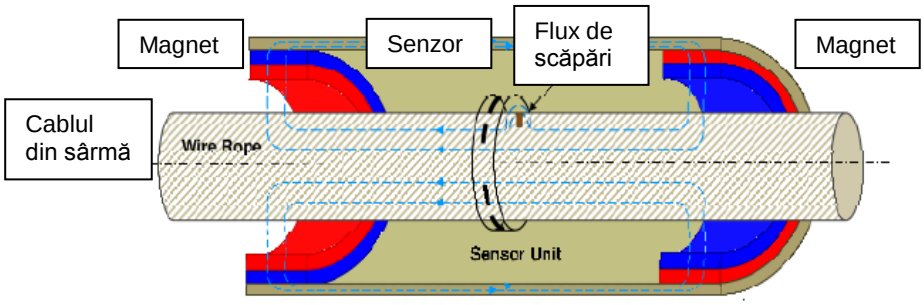


Fig. 8. Schema de principiu a dispozitivului folosit la metoda fluxului magnetic de scăpări.

Magnetizarea la saturaţie este necesară pentru uniformizarea stării magnetice a cablului, sistem cu structură foarte neomogenă, şi creşterea raportului semnal/zgomot în procesul de detecţie. Este chiar recomandat ca saturarea magnetică să se efectueze separat, printr-o trecere iniţială, urmată de trecerea cablului prin dispozitiv în vederea examinării propriu-zise [1]. Pentru cabluri mobile, dispozitivul de inspecţie este menţinut fix, în timp ce cablul trece prin interiorul acestuia. Pentru cabluri în poziţie stabilă (de ex. cabluri de susţinere a podurilor suspendate), dispozitivul este tras pe cablu sau se deplasează cu un sistem de autopropulsie (Fig. 9).

Fig. 9. Dispozitiv de inspecţie deplasat pe cablul de susţinere al unui pod suspendat.
Unitatea de stocare este fixată pe dispozitivul de examinare [5]

Informaţiile culese de senzor sunt transmise la unitatea de stocare, apoi sunt descărcate într-un computer în vederea evaluării şi interpretării cu un software specializat. Avantajele metodei sunt evidente: productivitate ridicată (viteză de examinare de până la 2 m/sec, sensibilitate ridicată, atât pentru deteriorări interne, cât şi externe ale cablului, nu necesită îndepărtarea lubrifiantului de pe suprafaţa cablului [1]. Pe lângă valoarea ridicată a investiţiei iniţiale, sunt şi dezavantaje: firele rupte şi desprinse din cablu pot afecta senzorul, echipamentul trebuie dotat cu un *encoder* pentru localizarea

precisă a deteriorărilor şi un domeniu larg de diametre de cablu impune mai multe dispozitive de examinare. Dacă problema deteriorării senzorului se poate rezolva (tăierea capetelor desprinse ale firelor rupte, detectate la examinarea vizuală, şi dotarea dispozitivelor cu manşoane de netezire), necesitatea de a plasa senzorul cât mai aproape de suprafaţa cablului examinat este o cerinţă inevitabilă pentru păstrarea sensibilităţii de detecţie. Cu cât diametrul cablului creşte, dimensiunile şi, mai ales, greutatea dispozitivului de magnetizare şi detecţie cresc. De exemplu, în cazul dispozitivelor produse de firma Intron, greutatea acestora creşte de la 3 kg, pentru domeniul de diametre 6 – 24 mm, la 15 Kg, pentru domeniul de diametre 40 – 64 mm, aceasta datorându-se greutăţii tot mai mari a magneţilor necesari magnetizării la saturaţie a cablului [5]. Nu în ultimul rând, metoda fluxului magnetic de scăpări necesită personal cu un nivel de calificare superior, comparativ cu examinarea vizuală. Suplimentar instruirii corespunzătoare utilizării echipamentului, operatorul trebuie să fie suficient de calificat pentru interpretarea indicaţiilor obţinute (Fig. 9a şi 9b).

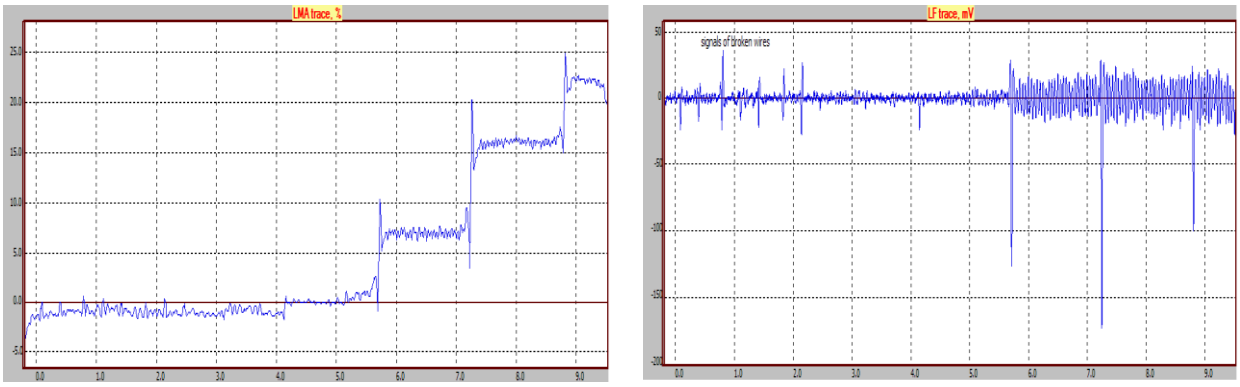


Fig. 9. Indicaţii tipice: *a* – indicaţii produse de reducerea secţiunii metalice a cablului; *b* – Indicaţii tipice produse de fire rupte [1].

4. Concluzii

Combinate inteligent, examinarea vizuală şi metoda fluxului magnetic de scăpări sunt instrumente eficace în mentenanţa preventivă a instalaţiilor şi construcţiilor bazate pe cabluri din sârmă. Recunoaşterea importanţei şi eficacităţii metodei magnetice este dovedită de numărul mare de standarde de aplicaţie existente (ASTM 1571, EN 12927-1…8, ISO 4309, etc.), precum şi de diversitatea echipamentelor disponibile [6]. În România, siguranţa funcţionării instalaţiilor pe cablu este reglementată de prescripţiile tehnice specifice, emise de ISCIR.

REFERINŢE

[1] A.Mironenko, ‘’Nondestructive inspection of steel wire ropes’’, Proceedings of MICNDT 2011.
[2] Herbert R. Weischedel, ‘’Crane Wire Rope Damage and Nondestr. Inspection Methods’’, www.ndttech.com
[3] Roland Verreet, W. Lindsay, ‘’Wire Rope Inspection and Examination’’, Casar Drahtseilwerk Saar GmbH, 1996.
[4] ‘’Non-Destructive inspection of Steel Wire Ropes’’, www.intron-plus.com
[5] ‘’Intros Booklet’’, www.intron-plus.com
[6] ‘’Wire Rope Non-Destructive Testing - Survey of Instrument Manufacturers’’, OFFSHORE TECHNOLOGY REPORT - OTO 2000 064, September 2000.

Noul sistem portabil de radiografie digitală şi generatoare X ultraușoare pentru examinări nedistructive pe teren

(New portable digital radiographic system and ultralight X-ray generators for on site NDT examinations)

ing. Kristóf Emeric, KIMET

Abstract

New portable digital radiographic system and ultralight X-ray generators for on site NDT examinations – advantages, application and technical characteristics

1. Introducere

Examinarea nedistructivă cu radiaţii X pe teren până în prezent a constituit o problemă greu de rezolvat. La locaţii îndepărtate lipsa reţelei electrice, a camerei obscure pentru developarea filmelor, greutatea excesivă a generatoarelor cu radiaţii X, a instalaţiilor de developare a filmelor, a negatoscoapelor au făcut aproape imposibilă utilizarea procedurii. Pentru rezolvarea problemei se propune utilizarea *Generatoarelor X ultrauşoare brevetate de firma ICM Belgia şi a Sistemului portabil de radiografie digitală* brevetată de de firma Carestream Health. Ambele aparate pot funcţiona de la acumulatori/baterie de acumulatoare ale unui autoturism. Greutatea lor totală va fi de 12 kg (pentru generatorul de 200 KV) + 16 kg (pentru sistemul de radiografie digitală).

2. Generatoare X ultrauşoare seria CP SITEX

Tabelul 1

DIRECȚIONAL	UNITĂȚI	CP160D	CP200D	CP225D	CP300D	CP320D
Gama de tensiune de ieșire	kV	10 la 160	10 la 200	10 la 225	20 la 300	20 la 320
Treaptă de selectare tensiune de ieșire	kV	1	1	1	1	1
Gama de curent a tubului	mA	1 la 10	1 la 10	1 la 10	1 la 10	1 la 10
Curentul tubului la putere maximă	mA	5,6	4,5	4	3,2	3
Treaptă de selectare pentru curentul tubului	mA	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Putere maximă la anod	W	900	900	900	960	960
Stabilitate tensiune (kV) și curent (mA)	%	± < 0,5	± < 0,5	± < 0,5	± < 0,5	± < 0,5
Ciclul de lucru la temperatură ambiantă de 30°C (*)	%	100	100	100	100	100
Penetrare oțel la tensiune (kV) și curent (mA) maxim (700mmFFD, 10 min, AA400, D=2)	mm Fe	29	42	47	66	70
Greutate totală (fără inele de mână)	kg	11,9	12	12,1	23	23
Dimensiuni de gabarit	mm	Ø 140 x 695	Ø 140 x 715	Ø 140 x 725	Ø 180 x 839	Ø 180 x 839
Doză de scurgere la 1 m la putere maximă	mSv/h	< 2,0	< 2,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Dimensiunile petei focale optice conform EN12543	mm	3.0 (-1.5 IEC 336)				
Geometria radiației	-	Direcțional				
Unghiul maxim util	°	60 x 40 eliptic				
Filtrare inerentă	mm Be	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Clasa de protecție	-	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Interval de temperatură de funcționare	°C	-30 la +60	-30 la +60	-30 la +60	-30 la +60	-30 la +60
Interval de temperatură de depozitare	°C	-40 la +70	-40 la +70	-40 la +70	-40 la +70	-40 la +70
Lungimea standard a cablului de conectare	m	20	20	20	20	20
Extensie maximă a cablurilor de interconexiune	m	100 (5x20m)	100 (5x20m)	100 (5x20m)	100 (5x20m)	100 (5x20m)
Tip de conector	-	MIL-DTL 26482 Metalic rotund				
Mod de putere constantă	-	Da	Da	Da	Da	Da
Soclu comutabil la pozițiile axială sau radială	-	Da	Da	Da	Da	Da
Presiune gaz izolație SF6 la 20 °C	bar	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Tensiune de alimentare ventilator de răcire	VDC	48	48	48	48	48
Consumul de linie @ 230VAC	A	6	6	6	6	6
Inele de protecție	-	2	2	2	2	2
Circuit de măsurare HT microcontroler (kV și mA)	-	Da	Da	Da	Da	Da
Indicator luminos roșu de avertizare autoprotejat	-	Da	Da	Da	Da	Da
Ceas de timp real pentru încălzire complet automată	-	Da	Da	Da	Da	Da
Carusel încorporat care dispune de două diafragme, obturator și indicator cu laser	-	Obturator Pb, indicator cu laser, filtru Be 0,8 mm, filtru Alu 3 mm, diafragmă 10 x 48 cm				

În tabelul 1 sunt prezentate principalele caracteristici a produselor. În acest moment sunt livrabile CP 160 D; CP 200 D; CP 225 D. Clasa de protecție împotriva intemperiilor IP 65.

Sunt în curs de asimiliare generatoarele X ultraușoare panoramice. Dintre aceste produse a fost expus pe standul nostru expoziţional CP 200 D. Cu acest produs am efectuat o demonstraţie de radiografiere la Şantierul Naval Damen Galaţi. O comparație dintre greutățile instalațiilor de 200 kV este reprezentată în figura 1 și nivelul de protecţie este prezentat, comparativ, în figura 2

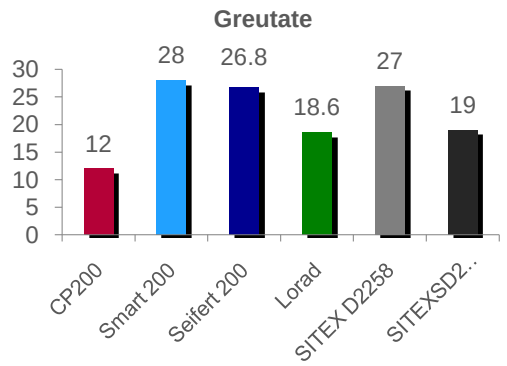


Fig.1. Greutatea instalaţiilor de 200 kV.

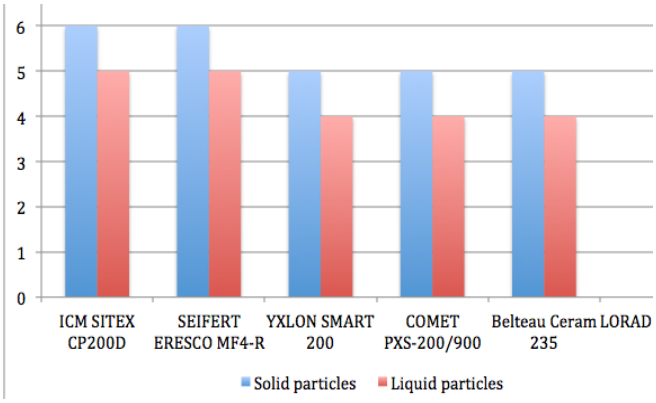


Fig. 2. Nivel de protecție împotriva intemperiilor.

Spre deosebire de produsele concurenților noștri, greutatea capului tubului SITEX CP200D include accesorii integrate, cum ar fi:

- Colimator 60° x 40°
- Colimator 100 x 480 mm @ 700 mm FFD
- Dispozitiv de centrare cu laser
- Obturator Pb 8mm pentru încălzire
- Filtru Be

Performanţele arătate mai sus, au fost posibile utilizând brevetele producătorului pentru construcţia specială a tubului Röntgen din sticlă de placaj special a sistemului de calibrare automată a radiaţiei şi a sistemului de răcire. Avantajele acestui sistem sunt prezentate în continuare.

1.1. Avantajele tubului Röntgen din sticlă cu placaj special, brevet ICM Belgia

1.1.1. Scurtă prezentare (fig. 3)

- Construcție (design) specială conform fotografiei
- Placaj special din semiconductori conform brevetului ICM
- Anod extern

Fig. 3. Tub din sticlă

1.1.2. Principalele avantaje a tubului din sticlă cu placaj special din semiconductori în comparație cu tuburile ceramice

Tubul de sticlă are capacitatea mult mai bună de a evacua sarcinile electrice (care sunt responsabile de 85% din problemele întâlnite la oricare din tuburile Röntgen) față de tubul de ceramică. Placajul special din semiconductori al tubului Röntgen prezentat este un colector suplimentar pentru sarcinile electrice, dar și conferă o rezistență mecanică suplimentară. Ceramica are capacitate mult mai slabă de a evacua sarcinile electrice, motiv pentru care a fost nevoie să se facă inserția metalică, rezultând astfel o construcție mai greoaie și mai scumpă.

Tubul Röntgen din sticlă cu placaj special nu este confecționat din materiale poroase, ca urmare nivelul de vacuum se păstrează o perioadă mai lungă (fig. 4). Ceramica este un material poros ceea ce conduce la scăderea lentă a nivelului de vacuum și reducerea duratei de viață a tubului Röntgen (în special când tubul nu este utilizat perioadă îndelungată).

Sticla și placajul special aproape nu sunt afectate de prezența fotonilor razelor X. Materialul ceramic își pierde rapid caracteristicile sale în prezența razelor X.

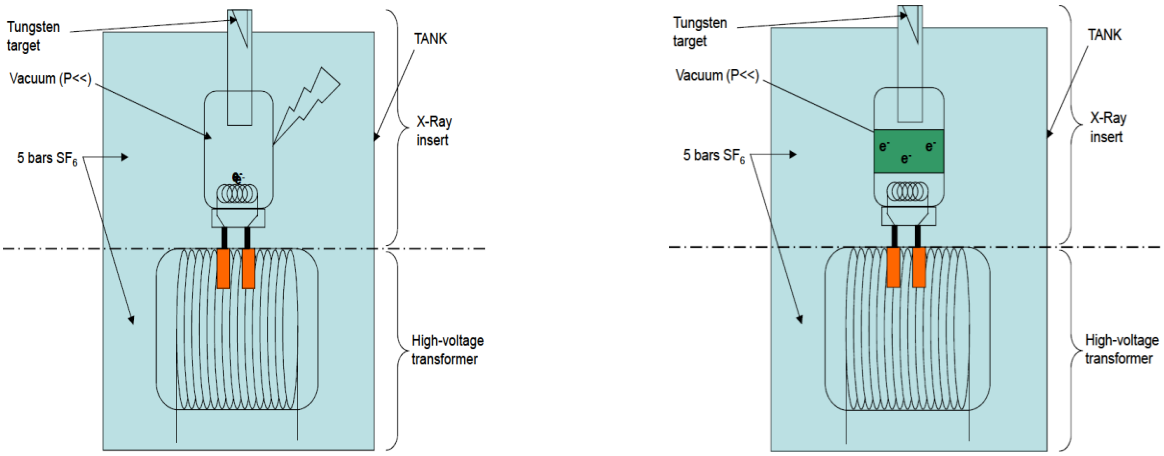


Fig. 4. Tubul Röntgen din sticlă cu placaj special.

1.2. Avantajele instalațiilor mobile de radiografie industrială ICM

- Construcție mai ușoară în raport cu instalațiile cu tuburi metalo-ceramice;
- Prețuri mai scăzute;
- Unitatea de control este identică la toate tipurile de instalații SITE X, ceea ce înseamnă că în caz de nevoie unitatea de control de la instalația panoramică se poate înlocui cu unitatea de control de la instalația direcțională și invers;
- Instalațiile panoramice au control automat al omogenității fascicolului (fig. 5). Acest brevet exclusiv al firmei ICM Belgia garantează densități de înnegrire cu constanță perfectă pe film. Niciodată nu este necesară să se compenseze omogenitatea slabă a fascicolului, prin poziționarea excentrică a generatorului. În acest fel operatorul economisește timp și filme de testare. Același mecanism menține fascicolul centrat după o descentrare accidentală a tubului din cauza unui șoc;
- Anodul extern asigura o racire mai eficientă;
- Instalația ICM are un sistem de răcire brevetat, care asigură ca ciclul de funcționare să fie de 100% la 30-40ºC. Adică instalațiile pot funcționa în foc continuu.

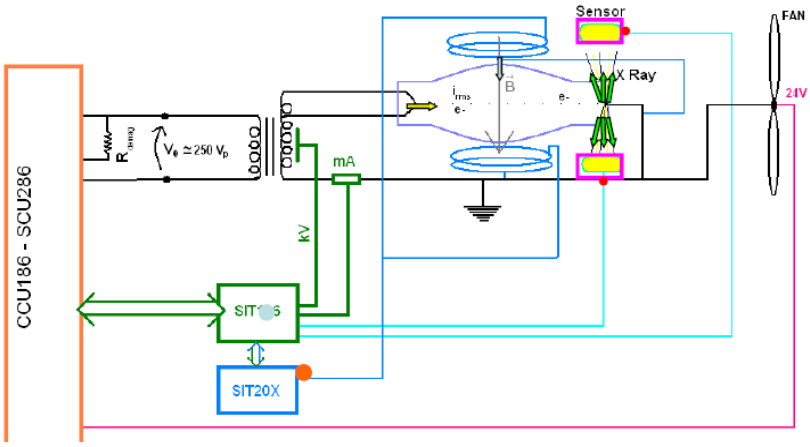


Fig. 5. Calibrarea automată a aparatului Roentgen.

Construcția instalației ICM este exclusiv design-ul producătorului. Tubul poate cădea de la aproape

1 metru înălțime, fără ca tubul din sticlă placată să se spargă. La acest nivel de cădere toate filamentele, oricărui tub Röntgen (metalo ceramic sau sticlă) sunt rupte, ca urmare tubul trebuie înlocuit. Deci este inutil să existe o carcasă care să reziste la căderi de la înălțime mai mare, dacă filamentele lor se sparg oricum. Degeaba ar rezista carcasa tubului metaloceramic la căderi de la înălțimi mai mari (eventual, dar nu este sigur). Dacă filamentul tot se sparge tubul trebuie înlocuit.

2. Noul sistem portabil de radiografie digitală HPX-*PRO*

Sistemul de radiografie computerizată HPX-*PRO* (fig. 6) este construit pentru o calitate ridicată a imaginii, îmbunătățirea productivității și portabilitate extremă. Acest sistem de ultimă generație ușor, portabil, este o soluție de imagistică CR care se instalează în timp scurt și produce rapid imagini de înaltă calitate, utilizând un nou protocol de scanare/ștergere la o singură trecere.

Fig. 6. Sistem portabil de radiografie digitală HPX-*PRO*.

Software-ul HPX-*PRO* încorporează o nouă interfață cu utilizatorul, concepută pentru ca dvs. să realizați configurarea și imagistica rapid, cu capabilitate ”Modul Discontinuu”, pentru a ține pasul cu condițiile de proces extreme, cum ar fi imagistica în conducte.

Performanța HPX-PRO

***PRO*-Portabilitate** HPX-*PRO* este cel mai mic, cel mai ușor sistem CR proiectat special pentru utilizare în domeniul NDT. Cu un mâner central ergonomic, învelit, acesta poate fi transportat la fel de ușor ca o valiză de mână. **Cântărind doar 35 lbs./16 kg. și cu o lățime mai mică de 12 inch/31 cm, poate fi ținut în mână cu ușurință.**		
***PRO*-Flexibilitate** Disponibilitatea energiei electrice în locații îndepărtate poate fi o provocare, dar nu cu HPX-*PRO*. Acesta poate să funcționeze de la rețeaua electrică (110/220V), sau utilizând un acumulator de alimentare obișnuit, de 24V. **Lucrați acolo unde este nevoie, fără restricții de alimentare.**		
***PRO*-Software** La baza HPX-*PRO* este **Software-ul INDUSTREX** de la Carestream, cu o nouă interfață de utilizator simplificată, concepută pentru a permite configurarea rapidă a sarcinilor de lucru. Spre deosebire de pregătirea lucrului folosind filmul convențional, mare consumatoare de timp, cu HPX-*PRO* vă pregătiți pentru ziua de lucru în câteva minute, în loc de ore. Și lucrați mai rapid, în medii solicitante, de mare productivitate.		
***PRO*-Raportare** În combinație cu instrumentul de **raportare personalizată al Software-ului INDUSTREX**, HPX-*PRO* vă va ajuta să terminați ziua mult mai devreme, și cu o mai mare productivitate. Creați formulare personalizate reutilizabile și salvați un șablon unic pentru fiecare client. După ce ați realizat toate capturile de imagine, cu un clic pe un buton puteți crea rapoarte pentru clienți în doar câteva secunde		

Noile instrumente software asigură, de asemenea, analiza rapidă a imaginii și raportare personalizată, pentru generarea de rapoarte unice pentru clienți, în câteva secunde. De la hardware la software, la lucrul departe, pe teren și partajarea instantanee a imaginilor, HPX-PRO este un sistem complet, conceput pentru a îmbunătăți productivitatea. Carestream a petrecut un timp îndelungat lucrând pe teren cu tehnicieni de radiografie X mobilă, pentru a ajuta la îmbunătățirea fluxului de lucru. HPX-*PRO* este doar o piesă a soluției complete de imagistică. De la momentul captării imaginilor până la raportarea finală, în toate etapele a fost loc pentru îmbunătățiri.

SPECIFICAȚII HPX-*PRO*	
Mecanism de alimentare	**Perechi de role orizontale interne**
Conectivitate	Ethernet
Rețea	Compatibilă DICOM și DICONDE
Flux de aer	Presiune pozitivă în interiorul instalației de scanare
Ștergere	Lămpi de ștergere cu LED-uri de înaltă eficiență și consum redus de energie
Întreținere	Piese de uzură care pot fi întreținute de utilizator
Calibrare	**Complet calibrat din fabrică și gata de funcționare**
Rezoluția de scanare	25 microni, 50 microni sau 100 microni
Dimensiuni placă	Maxim 15 cm lățime x maxim 243 cm lungime
Software	INDUSTREX (instalat și testat înainte de livrare) Windows 7 Ultimate 64 bit
Filtru	**Filtrul de imagine EDGE de la Carestream oferă utilizatorilor o opțiune de filtre de afișare, în timp ce nu modifică niciodată imaginea sursă originală.**
Monitor	Laptop, 3MP (color) sau 5MP (monocrom)
Carcasă	Construcție rigidă din aluminiu cu picioare de amortizare a vibrațiilor
Alimentare	100-240 VAC (Detectare automată a nivelului)
Baterie	Acumulator standard 24 volți
Durata de viață a bateriei	**4 ore în standby / 45 minute scanare activă și ștergere pe baterie**
Garanție	**1 an pentru componente și manoperă**
Instalare	Se livrează complet și poate fi instalat la fața locului rapid și ușor de către client
Dimensiuni	41 cm x 33 cm x 31 cm.
Greutate	16 kg

Examinarea ultrasonică a sudurilor circulare ale conductelor din oţel placat cu traductoare matriciale duale

(Ultrasonic Inspection of Dissimilar Girth Welds of Large Diameter CRA-Clad Pipeline with Dual Matrix Array Transducers)

Octav Teodorescu,

NAMICON, octav@namicon.ro

Abstract

CRA-clad pipes are increasingly used for transportation of hot and corrosive materials because of higher resistance to corrosion provided by the corrosion resistant alloys (CRA) used for the pipe cladding. Ultrasonic inspection of dissimilar girth welds in CRA-clad piping poses a particular challenge. As the material of the clad layer (Inconel, stainless steel, etc.) differs from that of the parent material (carbon steel), the interface between these materials makes the rebound on the internal wall (ID) of the pipe unpredictable or even impossible. In addition, the anisotropic structure of the cladding and the weld creates ultrasonic mode conversion and different beam orientations. Consequently, high-precision techniques like zone discrimination cannot be used. Pulse-echo using the second leg of the ultrasonic beam is impossible, which makes inspection of the cap and its subsurface extremely challenging. Dual matrix array inspection is a simple and reliable solution to this particular challenge.

1. Introducere

Conductele placate sunt din ce în ce mai des utilizate pentru transportul fluidelor corozive la temperaturi înalte datorită rezistenţei ridicate la coroziune oferite de aliajele speciale (CRA – corrosion resistant alloys) utilizate la placare.

Examinarea ultrasonică a sudurilor circulare ale ţevilor placate este problematică și este necesară o soluţie simplă și cu grad ridicat încredere pentru aceasta aplicaţie dificilă. Având în vedere proprietăţile și structura materialelor de placare (Inconel, otel inox etc.) raportate la cele ale materialului de bază (oţel carbon), particularităţile interfeţei dintre aceste materiale determină ca propagarea ultrasunetelor către peretele intern al conductei să fie greu previzibilă sau chiar imposibilă. În plus, structura anizotropică a materialului de placare determină conversia modurilor ultrasonice și orientări diferite ale fasciculului. În consecinţă, tehnicile convenţionale de inspecţie nu pot fi folosite.

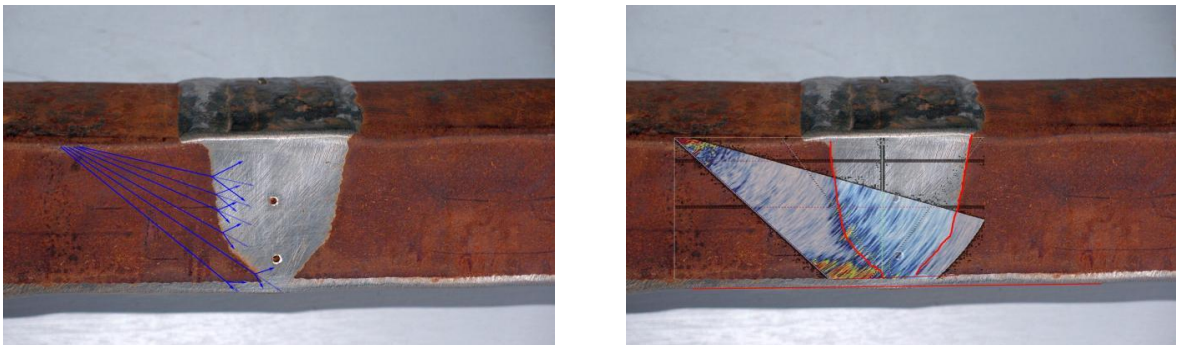


Fig. 1. Comportarea unui fascicul ultrasonic la interfaţa dintre oţelul carbon și Inconel.

2. Soluţia: traductoare matriciale duale (Dual Matrix Array - DMA)

Sudurile oţelurilor austenitice și cele eterogene / placate sunt dificil de examinat ultrasonic, mai ales atunci când inspecţia trebuie efectuată de pe o singură parte, ca urmare a împrăștierii fasciculului ultrasonic cauzată de anizotropia materialului.

Traductoarele convenţionale TRL (Transmit-Receive Longitudinal) se folosesc în mod curent pentru inspecţia structurile eterogene și a altor materiale cu atenuare acustică ridicată. Traductoarele Phased Array cu matrice dublă DMA (Dual Matrix Array) combină avantajele traductoarelor TRL cu avantajele tehnologiei Phased Array ce permite orientarea, baleierea și focalizarea electronică a fasciculului ultrasonic.

Traductoarele TRL sunt în esenţă traductoare dublu-cristal, cu un emiţător și un receptor, separate printr-o izolaţie acustică. Configuraţia unghiurilor relative ale celor două cristale permite focalizarea într-un punct în piesă și crează o pseudo-focalizare. Aceste traductoare elimină ecoul de la interfaţă, nu au zona moartă datorită ecourilor din pană, reduc semnalele retroîmprașiate și permit folosirea unei amplificări mai mari. Deoarece un traductor TRL are unghi de refracţie și punct de pseudo-focalizare fixe, efectuarea unei inspecţii poate necesita mai multe traductoare pentru a acoperi configuraţii diferite.

Traductoarele DMA (Dual Matrix Array) reprezintă o evoluţie logică a acestei tehnologii. Compuse din 2 matrici de cristale (Fig. 2), ele permit fascicului baleierea între 30˚ si 70˚ (unde longitudinale sau transversale), ajustarea la diferite adâncimi a punctului de focalizare, modificarea secţiunii fasciculului alegând diferite mărimi ale aperturii, precum și orientarea fasciculului pentru discontinuităţi oblice. Împreună cu defectoscopul OmniScan MX2 și posibilităţile imagistice avansate ale acestuia, traductorul DMA reprezintă o soluţie mult mai flexibilă decât traductoarele TRL și poate fi electronic adaptat la orice configuraţie a îmbinării inspectate.

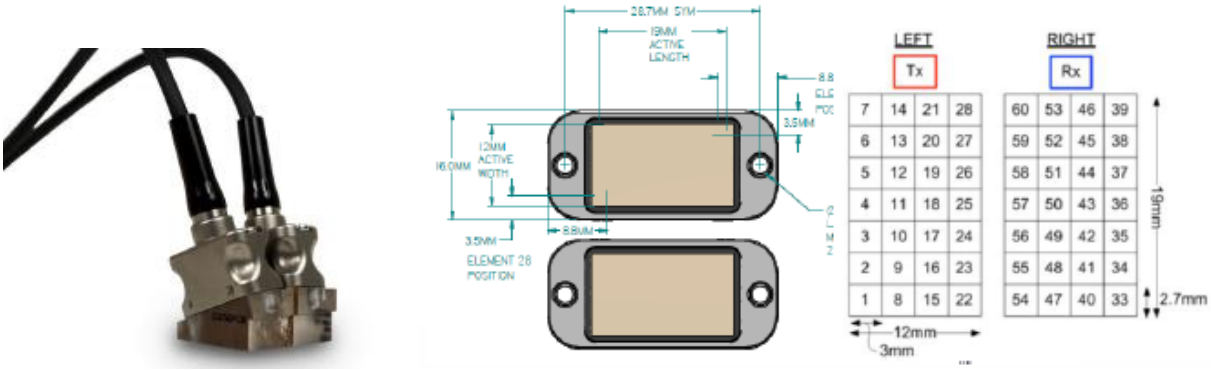


Fig. 2. Traductor Matricial Dual DMA.

3. Aplicaţia

Testele au fost efectuate pe o ţeavă cu diametrul de 36”, folosind un traductor PA DMA de 2,25 MHz compus din 2 matrici de câte 28 de elemente (7x4) montat pe o pană de unde longitudinale cu unghiul central de 55˚.

Un defectoscop matricial portabil (OmniScan MX2 32:128PR OLYMPUS) a fost programat să asigure o acoperire completă a volumului sudurii în incidenţă directă. Au fost folosite 2 grupuri de scanare PA:

- grupul 1 pentru scanare sectorială cu unde longitudinale pe domeniul 30˚…76˚, focalizat la 2 mm adâncime pentru examinarea volumului superior al sudurii și suprafeţei;
- grupul 2 pentru scanare sectorială cu unde longitudinale pe domeniul 30˚…76˚, focalizat la 20 mm adâncime pentru examinarea volumului și rădăcinii sudurii.

Fig. 3. Modelarea fasciculului: (stanga) unde longitudinale 75˚ focalizat la 2 mm (parte a grupului 1); (dreapta) unde longitudinale 45˚ focalizat la 20 mm (parte a grupului 2)

Examinarea s-a efectuat manual (fără scanner sau encoder).

Proba examinată a fost o ţeavă de oţel carbon cu diametrul de 36” și grosime de perete de 40 mm, placată mecanic cu un strat de Inconel 625 de 3 mm grosime. Sudura a fost executată tot cu Inconel 625 (Fig. 4).

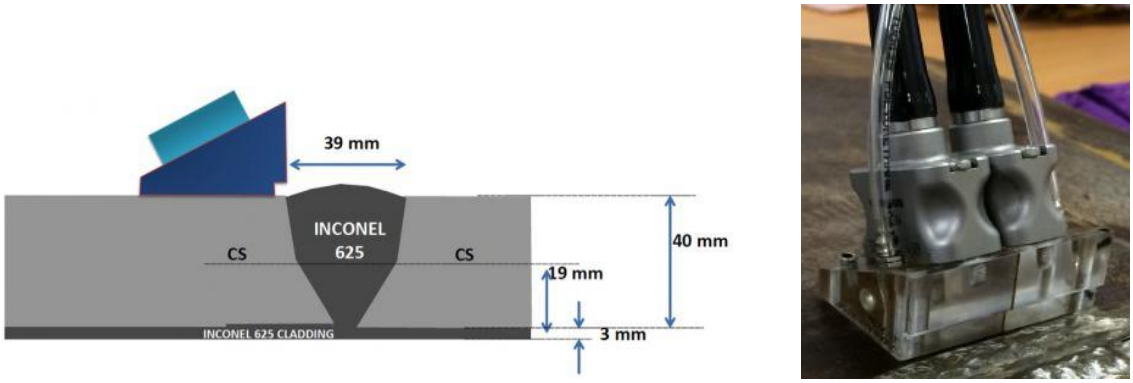


Fig. 4. Schema sudurii examinate.

Blocul de referinţă folosit a inclus găuri SDH (side-drilled hole) cu diametrul de 2,5 mm, poziţionate la T/4, T/2 și 3T/4, precum și crestături (*notch*) cu lungime de 10 mm și adâncime de 2 mm localizate la marginea, rădăcina și vârful cordonului de sudură (Fig. 5).

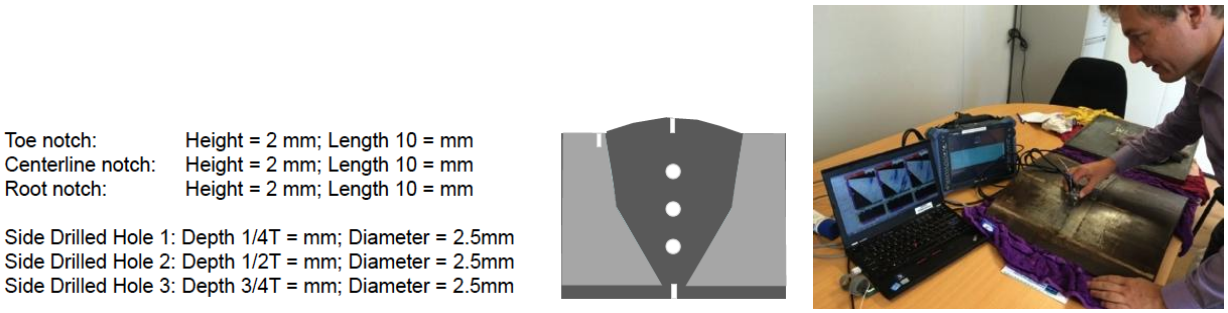


Fig. 5. Schema blocului de referinţă.

4. Rezultate

La examinarea blocului de referinţă, toate găurile SDH au fost detectate cu un raport SNR (semnal / zgomot) mai mare de 45 dB.

Găurile SDH de la 3T/4 și T/2 au fost detectate folosind grupul 2 cu focalizare la 20 mm, gaura localizată la T/4 a fost detectată cu grupul 1 focalizat la 2 mm adâncime (Fig. 6).

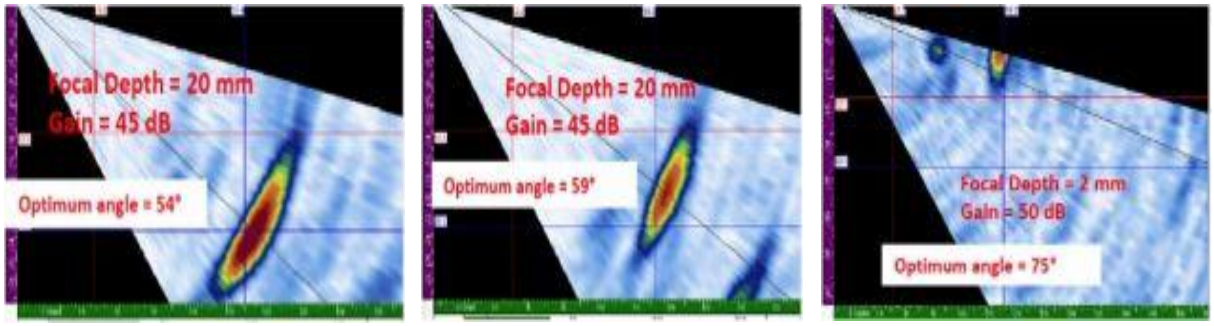


Fig. 6. Imaginile sectoriale ale găurilor SDH: 3T/4 la stânga; T/2 în centru; T/4 la dreapta.

Crestăturile aflate adiacent cordonului de sudură (pe aceași parte cu traductorul DMA) și pe vârful cordonului au fost detectate de către grupul 1 (focalizat la 2 mm adâncime) cu un raport SNR (semnal / zgomot) mai mare de 40 dB (Fig. 7). Crestătura de la rădăcina a fost usor evidenţiată cu grupul 2 focalizat la 20 mm.

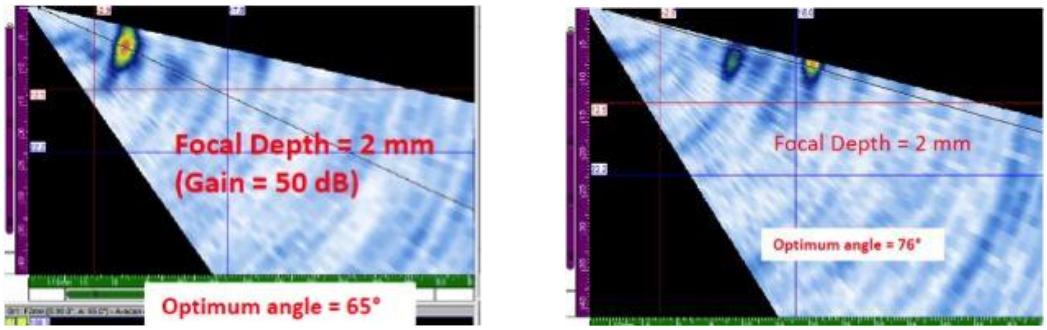


Fig. 7. Imaginile crestăturilor: adiacentă cordonului (stânga); vârful cordonului (dreapta).

5. Concluzii

Examinarea sudurilor materialelor placate cu traductoare matriciale duale DMA asigură o acoperire completă a volumului sudurii. Inspecţia sectorială cu 2 grupuri cu scanare 30˚…76˚ cu focalizări diferite (2 mm și 20 mm) permite detectarea și localizarea discontinuităţilor de tip SDH în volumul sudurii, dar și a discontinuităţilor de tip *notch* localizate la exteriorul și interiorul ţevii.

Fig. 6. Utilizarea traductoarelor DMA permite penetrarea interfeţei oţel carbon – Inconel și detectarea discontinuităţilor din volumul sudurii.

Rezultatele foarte promiţătoare au permis extinderea utilizării traductoarelor DMA și la alte aplicaţii dificile sau chiar imposibil de soluţionat prin metode și cu traductoare convenţionale.

REFERENCES

[1] Lamarre A., “Improved Inspection of CRA-Clad Pipeline Girth Welds with the Use of Accessible Advanced Ultrasonic Phased-Array Technology”. ECNDT, Prague, 2014.

[2] Chapman P., “Advanced Probes for Austenitic, Dissimilar and CRA Weld Inspection”. Olympus Pres., Quebec, 2014.

[3] Magruder C., “Advancements in Phased Array Probes for Weld Inspection”. Olympus Webinars, Quebec, 2015.

[4] Olympus Application Notes, "Dual Matrix Array for Ultrasonic Inspection of Dissimilar Girth Welds of Large Diameter CRA-Clad Pipeline". www.olympus-ims.com , 2015.

[5] Olympus Application Notes, "Dual Matrix Array for the Inspection of Acoustically Noisy Welds". www.olympus-ims.com, 2015.

COMUNICATE ARoENd

ARoENd pune la dispoziția membrilor, specialiștilor în domeniu, agenților economici și firmelor interesate paginile revistei EXAMINĂRI NEDISTRUCTIVE pentru:

- Publicarea de materiale tehnice cuprinzând aspecte din experiența proprie, precum și noutăți în domeniu
- Anunțuri privind manifestările tehnico- științifice și expoziționale
- Anunțuri privind cereri și oferte de aparatură, accesorii și materiale specifice
- Oferte de servicii și service în domeniul examinărilor nedistructive
- Cereri și oferte de serviciu. Reclame

TARIFELE DE PUBLICARE A RECLAMELOR
ÎN REVISTA *EXAMINĂRI NEDISTRUCTIVE* ÎN ANUL 2016 (în lei, fără TVA)

COPERTE	PAGINI INTERIOARE POLICROMIE	PAGINI INTERIOARE ALB/ NEGRU
Coperta III……400 EUR	A4 …..300 EUR	A4…..200 EUR
	A5 …..200 EUR	A5…..150 EUR
Coperta IV……350 EUR	A6 …..150 EUR	A6…..100 EUR
	A3 mijloc revista…500 EUR	A3 mijloc revista…350 EUR
Spaţiile pentru publicarea reclamelor se asigură în ordinea primirii solicitărilor Membrii susţinători ai ARoENd beneficiază de o reducere de 10% pentru reclamele în paginile interioare.		

În conformitate cu prevederile procedurii DC-ARoENd - PSC-04" Supravegherea personalului certificat", precum și obligațiilor acceptate la semnarea cererii de certificare, persoanele certificate au obligația ca în termen de maxim 30 de zile să anunţe în scris DC-ARoENd eventuala schimbare a locului de muncă în vederea supravegherii activităţii ca persoană certificată şi să trimită confirmarea anuală a stării de sănătate şi dovada activităţii fără întreruperi semnificative, conform cerinţelor SR EN ISO 9712:2013. În caz contrar, certificatul îşi pierde automat valabilitatea.

Asociația Română de Examinări Nedistructive - ARoENd vă aduce la cunoștință că, în conformitate cu prevederile statutului și a practicii asociațiilor similare din străinătate, firmele și agenții economici interesați în probleme legate de examinările nedistructive pot deveni, la cerere, membri susținători ai ARoENd.
Devenind membri ai ARoENd, firmelor și agenților economici li se facilitează accesul la materiale documentare în domeniu, participarea la simpozioanele și manifestările tehnico-științifice, obținerea la solicitare de asistență tehnică în examinările nedistructive, organizarea de cursuri de perfecționare pentru toate metodele, posibilitatea de a-și face reclamă în publicațiile asociației. Membrii susținători ai ARoENd beneficiază de: o reducere de 25% la o reclamă pe care doresc să o insereze în unul din numerele revistei.

UTILIZAREA ABUZIVĂ a CERTIFICATULUI de COMPETENŢĂ

Suspendarea, retragerea şi anularea certificatului de competenţă

Toate certificatele emise de DC-ARoENd trebuie utilizate numai pentru metoda, nivelul şi sectorul industrial înscris pe certificat şi/sau pe legitimaţie. DC-ARoENd îşi rezervă dreptul de a face verificări, dacă certificatele sunt utilizate în mod abuziv. Dacă persoana certificată utilizează în mod abuziv certificatul (pentru alte metode, sectoare industriale sau niveluri decât cele înscrise pe certificat) sau în afara termenului de valabilitate ori a condiţiilor de acordare, DC-ARoENd îşi rezervă dreptul de a suspenda sau retrage certificatul persoanei respective.
DC-ARoENd va întreprinde măsuri corespunzătoare şi în situaţia când în cataloage, reclame etc. se fac referiri incorecte la sistemul de certificare utilizat de DC-ARoENd pentru personalul END.
Dacă persoana refuză să-şi depună certificatul, DC-ARoENd va publica (în revista proprie, pe site-ul asociaţiei etc) o declaraţie de invalidare a certificatului şi dacă este necesar poate iniţia şi o acţiune juridică.
Certificatele invalidate nu vor putea fi reînnoite, persoana nu va fi acceptată la un nou examen de recertificare, iar aceste decizii se vor transmite în scris persoanei în cauză. Decizia de invalidare o pronunţă Preşedintele ARoENd, după ce a fost supusă aprobării CD-DC-ARoENd, de către Directorul DC.

DC-ARoENd se asigură că persoanele care solicită reînnoirea certificatului şi-au păstrat capabilitatea de interpretare a standardelor corespunzătoare metodei şi sectorului pentru care solicită reînnoirea prin prezentarea dovezilor de instruire în perioada de la obţinerea ultimului certificat. Absolvirea cu succes a unui curs de reciclare organizat de un centru de şcolarizare recunoscut de DC-ARoENd reprezintă dovada că solicitantul îşi poate îndeplini cu succes sarcinile specifice nivelului certificat. (PL 01 - Calificarea şi certificarea personalului pentru examinări nedistructive).

Membrii susţinători ai ARoENd până la data de 25 nov. 2015

GRIMAS

Total Control S.R.L.

NÁMICON

TEST Trading

imagination at work

General Electric Int. Inc. Wilmington, Suc. Romania

PTS josef solnař

DAMEN

Exclusive Sponsor

OLYMPUS®

19th WCNDT 2016

World Conference on Non-Destructive Testing

June 13 – 17 in **Munich** Germany

ICNDT

DGZIP

GERMAN SOCIETY FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING