

Badania Nieniszczące i Diagnostyka

1/2018

Kwartalnik Naukowo-Techniczny

Nondestructive Testing and Diagnostics



20 lat działalności TÜV Rheinland Polska w zakresie szkoleń i certyfikacji personelu NDT

5-7 czerwca 2018, Hotel Holiday Inn**** – Łódź

Dowiedz się więcej: www.ndt-2018.konfeo.com

 **TÜVRheinland®**
Precisely Right.

OLYMPUS

Your Vision, Our Future

WIOSENNA PROMOCJA



Tylko do końca czerwca
wybierz swój zestaw,
w specjalnej cenie:

EPOCH 650

wraz z 3 wybranymi głowicami

EPOCH 6LT

wraz z 3 wybranymi głowicami



O szczegóły oferty zapytaj przedstawiciela Olympus
lub wyślij zapytanie na industrial@olympus.pl

Olympus Polska Sp. z o. o. | ul. Suwak 3, 02-676 Warszawa | tel.: (22) 366 00 77

industrial@olympus.pl | www.olympus-ims.com





Badania Nieniszczące i Diagnostyka
Agenda Wydawnicza SIMP
ul. Sabaly 11a, 71-341 Szczecin
tel. +48 576 400 550
e-mail: wydawnictwo@ptbnidt.pl
www.bnid.pl

ZESPÓŁ REDAKCYJNY / EDITORIAL BOARD

REDAKTOR NACZELNY / EDITOR-IN-CHIEF

Jerzy Nowacki

Z-CY REDAKTORA NACZELNEGO / DEPUTES EDITOR-IN-CHIEF

Tomasz Chady, Ryszard Pakos

SEKRETARZ NAUKOWY / SCIENTIFIC SECRETARY

Grzegorz Psuj

REDAKTOR JĘZYKOWY / EDITOR OF LANGUAGE AFFAIRS

Marcin Żytowski

REDAKTOR STATYSTYCZNY / EDITOR OF STATISTIC AFFAIRS

Slawomir Krajewski

REDAKTOR WYDAWNICZY / PUBLISHING EDITOR

Adam Sajek

REDAKTORZY DZIAŁOWI / SECTION EDITORS

METODOLOGIA BADAŃ / RESEARCH METHODOLOGY

Dr Slawomir Mackiewicz, Dr Marek Sliwowski

CERTYFIKACJA W BADANIACH / CERTIFICATION IN RESEARCH

Mgr Bogdan Piekarczyk, Mgr Marta Wojs

URZĄDZENIA I SYSTEMY BADAŃ

/ EQUIPEMENT AND SYSTEMS FOR RESEARCH

Dr Grzegorz Jezierski, Mgr Marek Lipnicki

PRAKTYKA PRZEMYSŁOWA BADAŃ

/ PRACTICE OF INDUSTRIAL RESEARCH

Dr Krzysztof Dragan, Mgr Bogusław Olech, Mgr Darek Wojdała

DIAGNOSTYKA / DIAGNOSTICS

Dr Bogusław Ładecki, Dr Ryszard Nowicki

MIĘDZYNARODOWA RADA PROGRAMOWA
/ INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Ryszard Sikora, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
Przewodniczący/President

Prof. Krishnan Balasubramaniam, Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India

Prof. Alexander Balitskii, National Academy of Science of Ukraine, Ukraine

Prof. Gilmar F. Batalha, University of Sao Paulo, Brasil

Prof. Leonard J. Bond, Iowa State University, USA

Dr Pierre Calmon, CEA, France

Prof. Ermanno Cardelli, Università degli Studi di Perugia, Italy

Prof. Zhenmao Chen, Xi'an Jiaotong University, China

Prof. Leszek A. Dobrzański, World Academy of Materials and Manufacturing Eng., Polska

Dr Hubert Drzeniek, AMIL Werkstofftechnologie GmbH, Germany

Prof. Antonio Faba, Università degli Studi di Perugia, Italy

Prof. Nikolaos Gouskos, University of Athens, Grece

Mgr Paweł Grześkowiak, UDT, Polska

Prof. Jerzy Hoła, Politechnika Wrocławska, Polska

Prof. Jolanta Janczak-Rusch, Empa, Switzerland

Mgr Ryszard Jawor, Ryszard Jawor Usługi NDT, Polska

Dr Grzegorz Jezierski, Politechnika Opolska, Polska

Inż. Slawomir Józwiak, NDT Systems, Polska

Mgr Pablo Katchadjian, National Atomic Energy Commission of Argentina, Argentina

Mgr Jan Kielczyk, Energomontaż-Północ, Polska

Mgr Jacek Kozłowski, TEST PLB, Polska

Prof. Marc Kreutzbruck, University of Stuttgart, Germany

Dr. Jochen Kurz, DB Systemtechnik GmbH, Germany

Mgr Marek Lipnicki, KOLI, Polska

Prof. Leonid M. Lobanow, Paton Welding Institute, Ukraine

Dr Slawomir Mackiewicz, NDT SOFT, Polska

Dr Wojciech Manaj, Instytut Lotnictwa, Polska

Dr Tadeusz Morawski, Usługi Techniczne i Ekonomiczne "Level", Polska

Prof. Zinovy T. Nazarchuk, National Academy of Science of Ukraine, Ukraine

Dr Ryszard Nowicki, GE Energy, Polska

Prof. Mohachiro Oka, Oita National College of Technology, Japan

Dr Jolanta Radziszewska-Wolińska, Instytut Kolejnictwa, Polska

Prof. Helena Maria Geirinhas Ramos, Instituto Superior Técnico, Portugal

Prof. Joao M A Rebello, Federal University of Rio de Janeiro, Brasil

Prof. Artur Lopes Ribeiro, Instituto Superior Técnico, Portugal

Prof. Maria Helena Robert, University of Campinas, Brasil

Dr hab. Maciej Roskosz, Politechnika Śląska, Polska

Prof. Leonard Runkiewicz, Instytut Techniki Budowlanej, Polska

Prof. Krzysztof Schabowicz, Politechnika Wrocławska, Polska

Prof. Valentyn R. Skalsky, National Academy of Science of Ukraine, Ukraine

Prof. Jacek Słania, Instytut Spawalnictwa w Gliwicach, Polska

Prof. Jacek Szelażek, IPPT PAN, Polska

Prof. Andrzej Szymański, Politechnika Śląska, Polska

Dr Marek Sliwowski, NDTTEST Warszawa, Polska

Prof. Antonello Tamburrino, University of Cassino and Southern Lazio, Italia

Prof. Yuji Tsuchida, Oita University, Japan

Prof. Andrzej Tytko, AGH Kraków, Polska

Prof. Lalita Udp, Michigan State University, USA

Prof. Gábor Vértessy, Hungarian Academy of Sciences, Hungary

Dr Grzegorz Wojs, UDT, Polska

Prof. Slawomir Wronka, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Polska

Prof. Chunguang Xu, Beijing Institute of Technology, China

Prof. Noritaka Yusa, Tohoku University, Japan

Badania Nieniszczące i Diagnostyka

Nondestructive Testing and Diagnostics

NR 1/2018

ISSN 2451-4462

VOLUMEN 3

SPIS TREŚCI

Igor Solodov, Damien Ségur and Marc Kreutzbruck

Recognition of bonding contamination in CFRP composite laminates by measurements of local vibration nonlinearity* 3

Bogusław Olech

Informacje z oddziałów: Oddział Szczecin 9

Jerzy Nowacki, Norbert Sieczkiewicz

Postępy w ocenie NDT jakości kompozytów polimerowych w warunkach produkcyjnych* 11

Paweł Irek, Jacek Słania, Leszek Grolik

Czas wywoływania w badaniach szczelności metodą penetracyjną w aluminium i jego stopach* 19

Łukasz Rawicki, Piotr Machała, Patryk Uchroński, Jacek Słania, Karol Kaczmarek¹

Badania automatyczne i systemy badawcze wykorzystywane w badaniach ultradźwiękowych osi kolejowych* 23

Olexiy Balitskii, Waleriy Kolesnikov, Anatoliy Owsyannikov, Sergiy Lizunov, Jacek Elias

Data science approaches to diagnostics of metal stress-strain state using semiconductor sensor suitable for system design* 28

Janina Rogozewicz 33

46. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących 34

Tadeusz Morawski

Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych „Stary Młyn 2017” 37

Informacje dla Autorów i Czytelników 40

* - artykuł recenzowany

REKLAMY NA OKŁADCE

REKLAMY W NUMERZE

TÜV Rheinland 1	CASP 2
OLYMPUS 2	EVEREST POLSKA 10
CONTROL - TECH 3	Instytut Spawalnictwa 18
EVEREST POLSKA 4	TELEMOND HOLDING 22

**47. Krajowa Konferencja
Badań Nieniszczących**
16-18 października 2018, Kołobrzeg
więcej informacji: www.kkbn.pl

PATRONAT I STAŁA WSPÓŁPRACA
/PATRONAGE AND PERMANENT COOPERATION

casp system 
ADVANCED TECHNOLOGIES

 TÜVRheinland®
Precisely Right.

 TELEMOND
HOLDING

badania wizualne
 Everest
Polska www.endoscopy.pl

 OLYMPUS



RMS2

W PEŁNI AUTOMATYCZNY ORAZ ZDALNY SYSTEM MAPOWANIA KOROZJI TECHNIKĄ UT

BADANE ELEMENTY: zbiorniki magazynowe,
zbiorniki ciśnieniowe, rurociągi i inne urządzenia
krytyczne

- » Grubość badanych ścianek do 150 mm
- » Prędkość skanowania do 730 mm/s
- » Rozdzielczość skanowania od 0,5 mm x 0,5 mm do 150 mm/150 mm
- » Badanie może być wykonane na rurociągach o średnicy od 150 mm
- » Długość skanowania do 50 m przy szerokości skanowania do 1 m
- » Możliwość zmiany rozdzielczości skanowania w celu zwiększenia prędkości inspekcji dużych zbiorników magazynowych
- » Temperatura badanych obiektów aż do 170°C

SWIFT-UT

PRZENOŚNE URZĄDZENIE DO POZYSKIWANIA DANYCH

BADANE ELEMENTY: zbiorniki ciśnieniowe,
poszycia okrętów i offshore

- » Wymiary: 355 x 288 x 127 mm
- » Waga: 6,6 kg
- » Matowy, duży ekran dotykowy o przekątnej 26,4 cm
- » Zasilanie bateryjne
- » Zintegrowana karta ultradźwiękowa i dedykowane oprogramowanie B-SCAN
- » Klasa IP65
- » KOMPATYBILNY z:
 - » SCORPION2 - zdalne urządzenie ultradźwiękowe z zastosowaniem napędu gąsienicowego
 - » R-SCAN - ręczna głowica B-SCAN
 - » THETASCAN - ręczna głowica C-SCAN



Igor Solodov^{1*}, Damien Ségur² and Marc Kreutzbruck¹

¹Institut für Kunststofftechnik, Universität Stuttgart, Stuttgart, Germany

²CEA LIST, CEA Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette, France

Recognition of bonding contamination in CFRP composite laminates by measurements of local vibration nonlinearity

Identyfikacja zanieczyszczeń w połączeniach klejonych kompozytów CFRP poprzez pomiary lokalnej nieliniowości drgań

ABSTRACT

A new approach based on measurements of a local nonlinear response of the laminate is suggested and applied to characterizing contaminations of adhesive bonding in carbon fibre reinforced polymer (CFRP). It is shown that a contaminated boundary layer of the adhesive contributes to an overall nonlinear response of the laminate that enables to recognise the difference in bonding quality caused by various types and levels of contaminations.

Keywords: glue bond; CFRP composite; vibration measurement

STRESZCZENIE

W artykule, w celu scharakteryzowania zanieczyszczeń połączeń klejonych polimerów wzmocnionych włóknem węglowym (CFRP), zaproponowano i następnie zastosowano nowe podejście oparte na pomiarach lokalnej nieliniowej odpowiedzi laminatu. Pokazano, że zanieczyszczona warstwa graniczna kleju przyczynia się do ogólnej nieliniowej odpowiedzi laminatu, która umożliwia rozpoznanie różnicy w jakości wiązania spowodowanej różnymi typami i poziomami zanieczyszczeń.

Słowa kluczowe: połączenie klejowe; kompozyt CFRP; pomiar drgań

1. Introduction

Adhesively bonded composite parts are increasing alternatives to mechanical joints in engineering applications of composite materials. The need for adequate nondestructive evaluation (NDE) and characterization of interfacial adhesion which determines reliability of structural bonding has long been considered as a challenge for ultrasonic NDE [1].

Conventional ultrasonic NDE instruments used in industry and technology make use of the so-called linear elastic response of materials which results in the amplitude and phase variations of the input signal due to its interaction with defects. The nonlinear approach to ultrasonic testing is concerned with nonlinear material response related to the frequency changes of the input signal. These spectral changes are caused by nonlinear dynamics of solids which scales from inter-atomic level for perfect materials to meso- and macro-scale nonlinearity for damaged areas. In many cases, monitoring material nonlinearity reveals directly the vulnerable areas within material or a product with sensitivity far superior to traditional ultrasonic inspection [2].

The nonlinear approach to material characterization stems from classical nonlinear acoustics [3, 4] which studied quasi-perfect (crystalline) materials whose nonlinearity was concerned with weak nonlinear dynamics of inter-atomic (Van der Waals) forces and described by generalised Hooke's law:

$$\sigma(\varepsilon) = C^II (1 - \beta_2\varepsilon - \beta_3\varepsilon^2 + \dots)\varepsilon \quad (1)$$

where C^II is a linear material stiffness, β_n are nonlinear

moduli of various orders.

The manifestation of elastic nonlinearity in (1) is the generation of the higher harmonics (frequencies nf_0) in the propagating high-amplitude ultrasonic wave of the fundamental frequency f_0 . Normally, the most sufficient contribution to the higher harmonic package comes from the second harmonic which is mainly used in applications and whose normalised amplitude is a parameter to characterise material nonlinearity.

From (1), the ratio of the second harmonic to the fundamental frequency signal is $\sim\beta_2\varepsilon$. For all "classical" (flawless) materials $\beta_2 \sim 1 \div 10$, so that even for a high acoustic strain values ($\varepsilon \approx 10^{-4}$) the above ratio $\leq 10^{-3}$. As the nonlinear wave propagates, the higher harmonic contribution leads to the waveform distortion which accumulates with propagation distance. This benefit is used to enhance the second harmonic response at the detector position. However, in reality even for a high acoustic strain of fundamental frequency the normalised cumulative second harmonic amplitude in majority of "classical" materials is substantially $< 1\%$.

In general, a non-perfect structure of realistic materials provides higher material nonlinearity attributed to different new mechanisms of acoustic nonlinearity. A substantial enhancement of the second harmonic signal was measured in a high-purity Al single crystal in which a dislocation pattern was induced by mechanical stress applied [4]. Further investigations confirmed an important role of internal boundaries in nonlinearity enhancement for dislocations in fatigued materials [5] and matrix-precipitate interfaces in alloys [6].

*Correspondence author. E-mail: igor.solodov@ikt.uni-stuttgart.de

Numerous studies were implemented to identify the mechanisms and manifestations of the nonlinearity for imperfect interfaces in application to NDE of closed cracks. It was found that various nonlinear mechanisms, which include plasticity of asperities [7], hysteretic nonlinearity [8], etc. provide a substantial enhancement of the interface nonlinear response. A further increase of Contact Acoustic Nonlinearity (CAN) was revealed for “weaker” bonds with intermittent contact (“clapping”) induced by an acoustic wave [9, 10].

Much less attention has been paid to nonlinearity of adhesively bonded interfaces. In this case, the joining materials are connected by means of an adhesive layer which forms two perfect interfaces between the materials and adhesive. The joint can now be represented as a nonlinear spring with a stress-strain response dependent on elastic properties of the adhesive itself as well as thin boundary layers ($\sim \mu\text{m}$ size) between the adhesive and the adherends [11]. The calculations revealed [11] that both linear and nonlinear parameters of these layers impact strongly the S-shaped classical stress-strain curve (1) of the joint and thus modify its nonlinear response. Further calculations [12] proposed to use the higher harmonics of slanted longitudinal waves reflected from the interface for NDE of adhesive joints.

The bulk wave reflection geometry is not applicable for composite materials manufactured mainly in the form of plates. A direct way to evaluate elastic nonlinearity in composite laminate plates is based on the second harmonic measurements for propagating Lamb modes. This technique is believed to be prospective for plate-like metallic and composite specimens and received considerable attention in literature e.g. [13-15].

To generate the so-called cumulative second harmonic of a Lamb wave mode, however, the two crucial conditions are required to be satisfied: phase velocities of the fundamental and the second harmonic modes must be equal and the power flow between them must be non-zero. Due to Lamb wave dispersion, the first condition leads a strict selection of the frequencies and the types of modes which are to be phase matched. For a uni-directional CFRP plate, the selection of these parameters identifies modes S_1 and S_2 as possible candidates for cumulative second harmonic generation [14]. In addition, the fundamental frequency f_0 must be chosen from the relation: $f_0 D \approx 2.25$ (MHz). These conditions have been recently confirmed and generalised for the case of a symmetric ply structure in CFRP laminate $[\pm 45/0/90]_{\text{Sym}}$ [15]: In addition to S_1 - S_2 pair another three possible pairs S_2 - S_2 , S_3 - S_3 , and S_7 - S_{12} have been obtained with different relations for selection of the fundamental frequency $f_0 D \approx 0.5$ (MHz $\cdot$ mm) for the first two pairs and $f_0 D \approx 2.234$ (MHz $\cdot$ mm) for S_7 - S_{12} interaction (Fig. 1 [15]). The highest efficiency of the second harmonic generation is predicted for the last pair due to precise phase velocity match.

The strict conditions for selection of the experimental parameters make the nonlinear plate wave technique barely applicable in industrial environment (various lay-ups, thickness, curved specimens, etc.). Instead, a new approach proposed in this paper makes use of a local nonlinear

response of the plate deformation. A contaminated layer of the adhesive is supposed to have a contribution to an overall nonlinear response of the laminate that enables to recognise the difference in bonding quality.

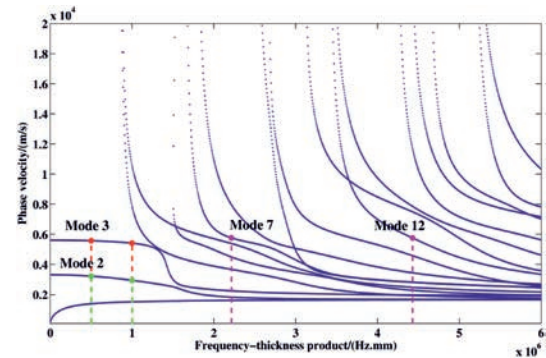


Fig. 1. Mode selection for second harmonic generation in symmetric CFRP laminate $[\pm 45/0/90]_{\text{Sym}}$ [15]

Rys. 1. Wybór trybu generowania drugiej harmonicznej w symetrycznym laminacie CFRP $[\pm 45/0/90]_{\text{Sym}}$ [15]

2. Local generation of non-cumulative higher harmonics

Cumulative nonlinear generation for the plate modes uses the benefit of the second harmonic growth with propagation distance that enables to increase its amplitude at the detector position. This approach originated and was inevitable in classical nonlinear acoustics which studied perfect (crystal-line) materials whose nonlinearity was concerned with weak nonlinear dynamics of inter-atomic forces. In materials with internal boundaries, the nonlinearity is noticeably higher so that the nonlinear measurements can be implemented locally without higher harmonic accumulation with distance.

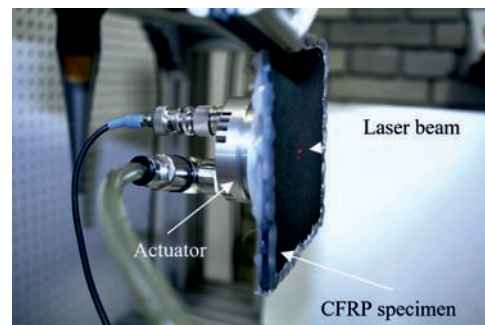


Fig. 2. Excitation and detection of vibrations in CFRP specimen
Rys. 2. Wzbudzenie i detekcja drgań w próbce CFRP

The technique is therefore based on the local generation of high amplitude vibrations and detecting the higher harmonics in the excitation area. An option for higher amplitude excitation was found by using piezo-actuators manufactured by SI Scientific Instruments GmbH (Germany) with a frequency response extended from low kHz into high kHz range (above 100 kHz). The actuators are vacuum attached to the specimens and can be used for on-site measurements of large aviation components. They are driven by a CW voltage generated by the HP 33120A arbitrary waveform generator. The generator is combined with HVA-B100 amplifier to

result in $10 \div 40$ V input amplitude for the piezo-actuator. The actuator is attached to one of the sides of the specimen and nonlinear vibrations produced locally in the area of excitation are measured on the opposite side of the specimen (Fig. 2).

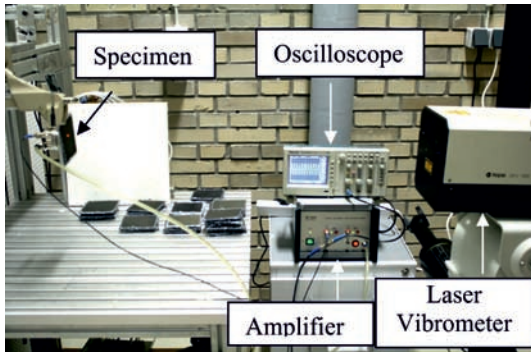


Fig. 3. Experimental setup used for excitation/detection of vibrations in CFRP specimen

Rys. 3. Układ eksperymentalny stosowany do wzbudzenia/wykrywania drgań w próbce CFRP

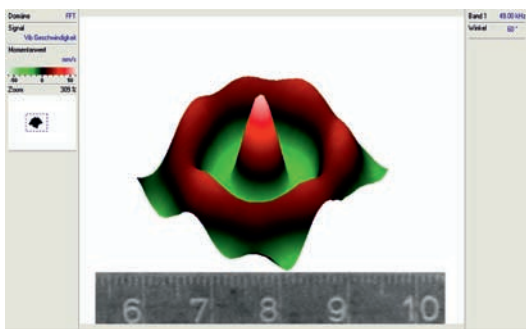


Fig. 4. Vibration pattern in the excitation area
Rys. 4. Wzorec vibracji w strefie wzbudzenia

To receive and analyze the frequency content of the vibrations generated locally in the excitation area a scanning laser vibrometer (SLV, Polytec 300) operating in the vibration velocity mode with maximum frequency bandwidth of 1.5 MHz was used (Fig. 3). The dynamic range of the SLV measurements ($100 \div 120$ dB) is well beyond the level of nonlinear frequency components. To avoid an impact of reflections on the local vibration in the excitation area, the edges of specimens were covered with dissipative material and rather high vibration frequency was chosen (49 kHz). With these precautions, after scanning of the specimen surface, the image of the fundamental frequency vibration pattern in the specimen is obtained as the wave emanating from the excitation area. The spectrum and the temporal pattern of the vibrations are measured in the central (source) area (a circle with 5 mm radius) where no plate wave propagation is involved yet (Fig. 4).

For input voltage of 20V, the vibration velocity amplitude measured at 49 kHz was in the range of 130-150 mm/s. The displacement amplitude is therefore in the range of $(4-5)10^{-8}$ m so that a local strain developed in the excitation area is 10^{-5} . This deformation is sufficient for manifestation of noticeable local nonlinearity in composite materials.

3. Verification of the methodology

To verify the methodology a few tests were implemented with knowingly nonlinear contacts in delaminated areas in CFRP specimens. A part of one of such specimens is shown in Fig. 5: the delamination between a few surface plies in a large CFRP plate ($300 \times 300 \times 4$ mm³) was induced by local surface heating. The local spectra obtained for the transducer positions inside the delamination area (on the reverse side of the plate) and outside (2 cm apart) are shown in Fig. 6. As expected, a certain level of nonlinearity is detected in the intact composite area (Fig. 6, top). A substantial increase of the number and the amplitudes of the higher harmonics in the damaged area due to CAN is clearly seen (Fig. 6, bottom) that confirms workability of the technique which was also tested on various other defects in CFRP.

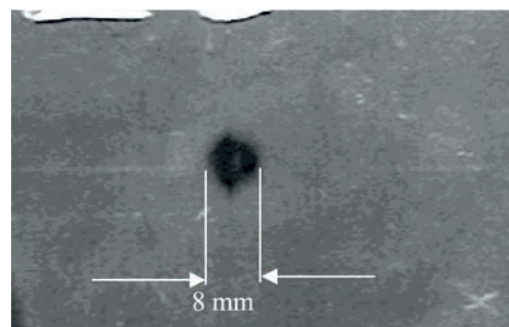


Fig. 5. A heat damaged area in a CFRP plate used for testing the local nonlinear methodology

Rys. 5. Obszar uszkodzenia cieplnego na płycie CFRP wykorzystywany do testowania lokalnej nieliniowej metodologii

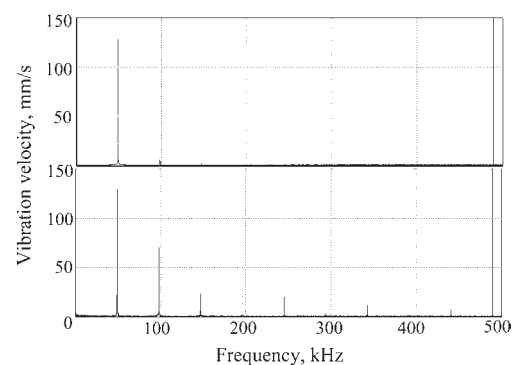


Fig. 6. Vibration spectra outside (top) and inside the damaged area (bottom) for CFRP specimen shown in Fig. 5.

Rys. 6. Widma drgań na zewnątrz (u góry) i wewnątrz uszkodzonego obszaru (u dołu) dla próbki CFRP pokazanej na Rys. 5.

4. Description and testing of contaminated specimens

4.1 Sample preparation

The measurements were carried out for a large set of composite specimens with different bonding conditions. The samples (10×10 cm²) manufactured according to Airbus AIPS 03-02-019 comprised two 8-ply CFRP laminates bonded with an epoxy adhesive layer FM300K from Cytec[®]. Hexcel M21E[®] is the material that was used for the composite laminates with the given stacking sequence [0, 0, 45, -45, -45, 45, 0, 0].

Two typical stages during the life of a structural part for which the adhesive properties of a bonding joint could be degraded were considered: the production process and the maintenance and repair scenario. All samples for production scenarios were bonded by using the adhesive FM® 300K (0.2) from Cytec while the specimens for repair scenarios were bonded by using the adhesive FM® 300-2.

For production scenario, three kinds of contaminants were studied: Release agent (RA), fingerprint (FP) and moisture (MO).

Release agent (silicon-based) is used during the molding process to ease the demolding of the parts. The release agent used was FREKOTE® 700NC. It was applied to the surfaces by dip coating before bonding.

Moisture uptake is relevant to both manufacturing and repair scenarios due to possible penetration of moisture during nondestructive testing, wet abrasion or storage in humid atmosphere. Moisture samples to be bonded were dried in an oven at 80°C until mass constancy. Then they were stored in a climate chamber (70°C, defined relative humidity) for two weeks prior to bonding to a reference bonding partner. The following relative humidity conditions were adjusted in the chamber: MO1: 30%; MO2: 75% and MO3: 98% relative humidity.

Fingerprint is typical for both manufacturing and repair scenarios due to inappropriate handling of the part. Samples were prepared using a standardized salty fingerprint solution (artificial hand perspiration solution) according to DIN ISO 9022-12. This solution contains sodium chloride, urea, ammonium chloride, lactic acid, acetic acid, pyruvic acid and butyric acid in demineralized water. Samples were prepared by applying this solution with the size of a fingerprint to the samples. Various degrees of contamination were achieved by using different dilutions (with demineralized water) of the FP solution: FP1: 10% FP solution, FP2: 50% FP solution and FP3: pure FP solution.

For repair scenario, only one kind of contaminant was applied: De-icing fluid (DI). The other two processes that could result in a loss of adhesion due to external influences or errors during bonding process were also studied: Thermal degradation (TD) and Faulty Curing (FC).

De-icing fluid is relevant to the repair environment: Residues of potassium formate of the de-icing fluid on the outer surface of an aircraft may end up in the repair areas and finally lead to an adhesive failure of the bonding. The de-icer used was SAFEWAY®KF from CLARIANT. It was diluted with demineralized water to obtain solutions with the following concentrations in percent of volume: 2% (DI1), 7% (DI2), and 10 % (DI3). The solution was applied to the surfaces by dip coating (aqueous solution) and dried in the oven for 2h at 40°C.

Thermal degradation can cause local overheating and damage of resin in CFRP. For different degrees of thermal degradation the samples were stored for 2h at the following elevated temperatures: 220°C (TD1), 260°C (TD2), and 280°C (TD3).

Faulty Curing: Inappropriate use of the adhesive or wrong curing cycles may lead to a loss of the adhesive properties in

both manufacturing and repair scenarios. An IR spot light was used to perform the adhesive curing, and the temperatures used were as follows: 120°C (FC1), 140°C (FC2), and 160°C (FC3).

For each type of contamination in both scenarios, a set of three specimens of every level of contamination was prepared for reliable statistics. Along with other three reference specimens (REFR and REFP) for each of the scenarios a total number of the specimens to be tested amounted to 60.

4.2 Testing of contaminated specimens

A characteristic spectrum measured in the contaminated specimens usually contained 2-3 higher harmonics with minor but noticeable waveform distortion (Fig. 7) which is typical for the materials without severe damage (delaminations or obvious disbands) in composites.

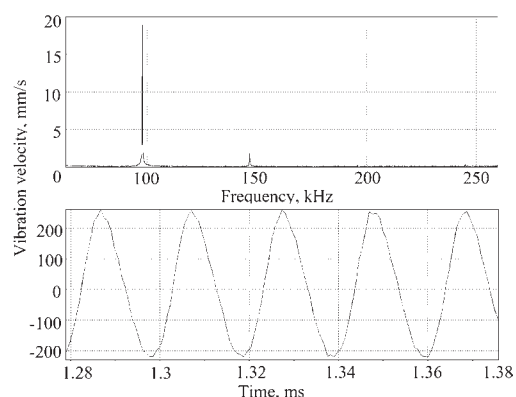


Fig. 7. A typical higher harmonic part of the vibration spectrum (second and third harmonics top) and vibration pattern (bottom) in contaminated CFRP specimen FP2-3

Rys. 7. Typowa część widma drgań wyższych harmoniczných (górna i trzecia harmoniczna) i wzorec wibracji (dół) w zanieczyszczonej próbce CFRP FP2-3

One of the experimental problems found out was concerned with an intermittent contact between the tip of vacuum attached transducer and the specimen that resulted in unstable vibrations and spectra in some points over the measurements area. To overcome the problem the spectra and the vibration temporal patterns were monitored for each scanning point around the excitation area. The measurements were counted as valid only when they demonstrated stable spectra in time. Each value of the fundamental frequency vibration velocity (v_0) and the higher harmonic components (v_n) measured for a stable spectrum in the probing area was used for evaluation of the nonlinear ratio $N_i = \sum v_n^2 / v_0^2$. An average value of the nonlinear ratio in the probing area was then calculated $N = \sum_{i=1}^m N_i / m$ (where m is the number of measurements) and the standard deviation of the results was estimated as

$$\Delta N = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (N_i - N)^2}{m(m-1)}}$$

The measurements were repeated in various points over the central part of the specimen to provide the relative error $\Delta N / N \leq 10 \div 20\%$.

The nonlinear ratio N_i is a part of the vibration energy ($\sim v_0^2$) converted into the higher harmonics ($\sim v_n^2$) so that it clearly quantifies material nonlinearity. An alternative parameter used in the literature is the nonlinearity parameter β_2 (see (1)) which is proportional to the second harmonic amplitude normalised to the square of the fundamental frequency wave. This ratio is an amplitude-independent parameter in "classical" (homogeneous flawless) materials with power-law dependence of the higher harmonic amplitudes (quadratic for the second harmonic). This is not the case in composites where the diverse nonlinear mechanisms change the power-law dynamics and selection of the amplitude-independent parameter is barely possible. To avoid the influence of the amplitude-dependent effects in estimation of the nonlinear ratio N the amplitude of the input voltage of the transducer was kept constant (20 V) over the course of measurements. As a result, in all the specimens measured the fundamental vibration amplitude was virtually constant within $\sim 10\%$ deviation.

5. Experimental results

The results of the measurements and calculations of N for all specimens (30 repair scenario (9TD, 9DI, 9FC, 3 REFR) and 30 production scenario (9MO, 9RA, 9FR, 3 REFP)) are given in Figs. 8-15. For each type of contamination, the data is structured in three sets of the specimens with the same specimen index (-1, -2, -3) but with a different level of contamination (numbers 1, 2, 3). The level of contamination enhances as this number increases. For the reference specimens, which are free from any contamination, the average values of N (AV) are also calculated (Fig. 8 and Fig. 9).

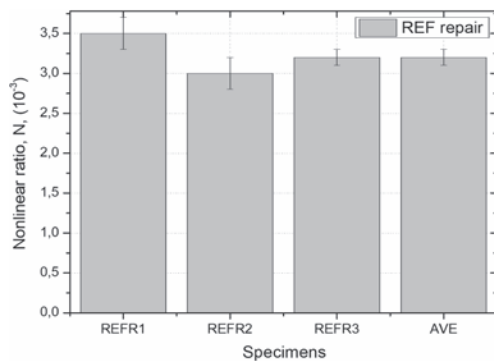


Fig. 8. Nonlinear ratios for reference specimens of repair scenario

Rys. 8. Współczynniki nieliniowe dla wzorców referencyjnych scenariusza naprawy

According to Fig. 8 and Fig. 9, the reference specimens reveal the minimal values of N . The insertion of adhesive noticeably enhances the nonlinearity for all specimens by 1.5 - 2 times. The maximum nonlinear ratio N was obtained in TD 3-2 specimen ($N \approx 8$, outside the scale in Fig. 10). In this specimen, the N values were found to depend on the position of the measurement point. This fact, along with anomalously high value of the nonlinear ratio indicates the presence of local delamination in the specimen induced by thermal activation that has also been verified with conventional (linear) ultrasonics [16].

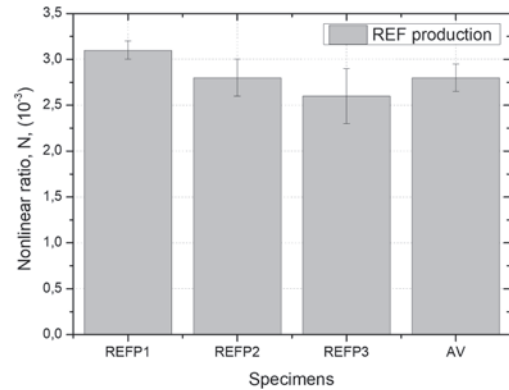


Fig. 9. Nonlinear ratios for reference specimens of production scenario

Rys. 9. Współczynniki nieliniowe dla referencyjnych próbek scenariusza produkcji

For each type of contamination, the values of N change noticeably with variation of the contamination level that indicates the sensitivity to the changes in the contaminated boundary layer between the adhesive and the adherends. According to the measurement results, the sensitivity of the nonlinear method is, therefore, sufficient to recognize the effect of contamination on the adhesive bonding.

For the contaminations types TD, RA, FP, DI, and FC, material nonlinearity increases with the increase of the level of contamination (Fig. 10 – Fig. 14).

To correlate particular variations in N with the strength of bonding as a function of the level of contamination we turn to the Introduction section where numerous examples were given to relate the increase in nonlinearity to "softening" of the material due to fatigue, cracking, internal interfaces, etc. A similar conclusion can be drawn based on the calculations of the stress-strain relations for the adhesive layer [11] which show that "softening" of the boundary layer increases its nonlinear response. This also correlates with a general characteristic of acoustic nonlinearity that is related to the material thermal expansion which is negligible for stiff materials and enhances strongly in soft solids [17].

This fact explains the lowest values of the nonlinear ratios in the reference specimens: Being free from any contamination they are supposed to manifest the highest bonding strength. From this viewpoint, the strongest decrease in bonding strength is caused by level 3 TD contamination (N values from ~ 8 to ~ 50 , Fig. 10). A similar decrease in bonding strength is also recognized for level 3 DI, FP, RA, and FC contaminations (N values > 7 , Fig. 11 – Fig. 14).). The MO case is not so convincing: with exception of the abrupt kick for specimen MO1-1, the nonlinearity does not change noticeably so that N oscillates around the value of ~ 5 for all 3 levels of contamination.

6. Summary and conclusions

A new approach to characterizing contaminations of adhesive bonding is based on measurements of a local nonlinear response of the laminate. It is shown that a contaminated boundary layer of the adhesive contributes to an overall nonlinear response of the laminate that enables to recognise the difference in bonding quality caused by various types

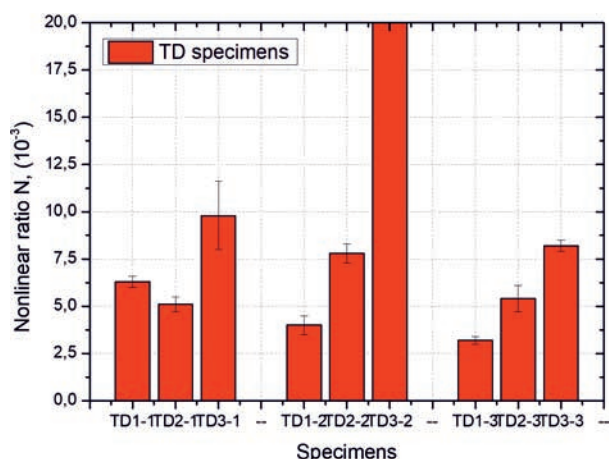


Fig. 10. Nonlinearity of the contaminated specimens (-1, -2, -3) as a function of TD level of contamination

Rys. 10. Nieliniowość zanieczyszczonych próbek (-1, -2, -3) w zależności od poziomu TD zanieczyszczenia

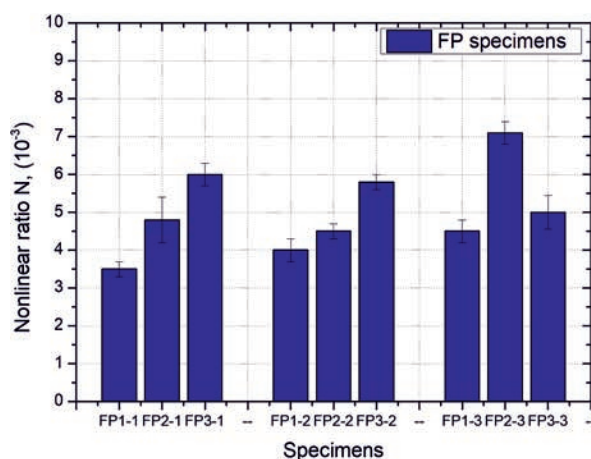


Fig. 13. Nonlinearity of the contaminated specimens (-1, -2, -3) as a function of FP level of contamination

Rys. 13. Nieliniowość zanieczyszczonych próbek (-1, -2, -3) w zależności od poziomu FP zanieczyszczenia

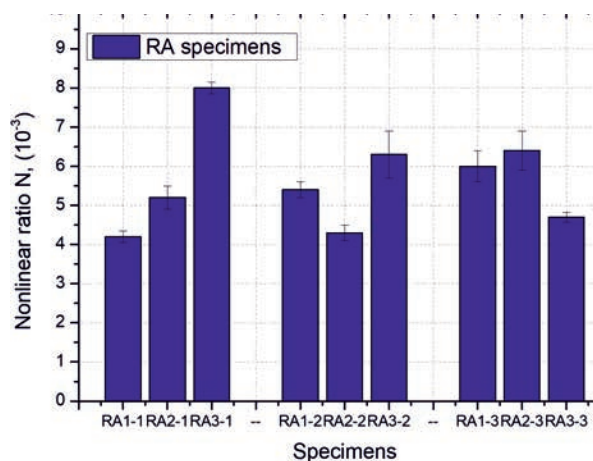


Fig. 11. Nonlinearity of the contaminated specimens (-1, -2, -3) as a function of RA level of contamination

Rys. 11. Nieliniowość zanieczyszczonych próbek (-1, -2, -3) w zależności od poziomu RA zanieczyszczenia

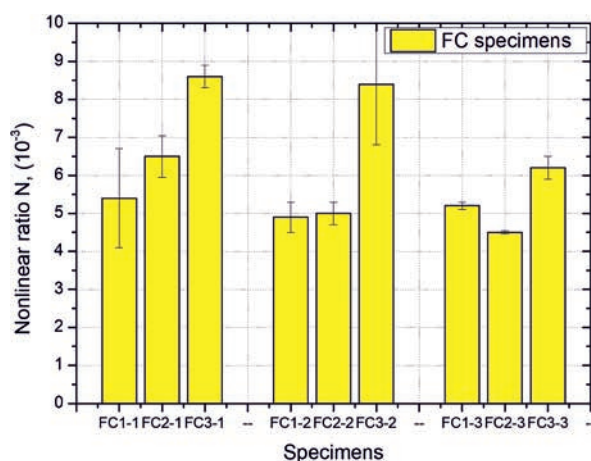


Fig. 14. Nonlinearity of the contaminated specimens (-1, -2, -3) as a function of FC level of contamination

Rys. 14. Nieliniowość zanieczyszczonych próbek (-1, -2, -3) w zależności od poziomu FC zanieczyszczenia

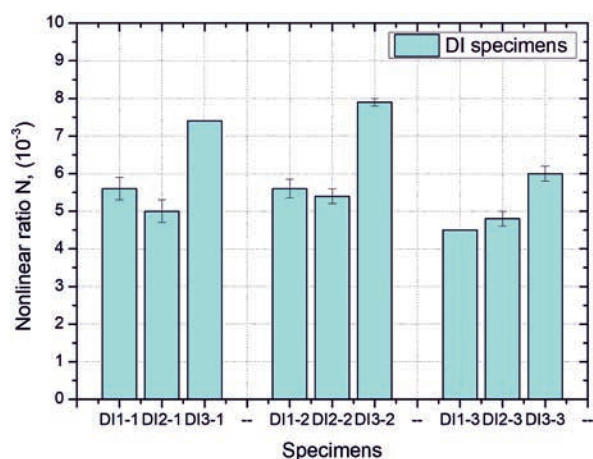


Fig. 12. Nonlinearity of the contaminated specimens (-1, -2, -3) as a function of DI level of contamination

Rys. 12. Nieliniowość zanieczyszczonych próbek (-1, -2, -3) w zależności od poziomu DI zanieczyszczenia

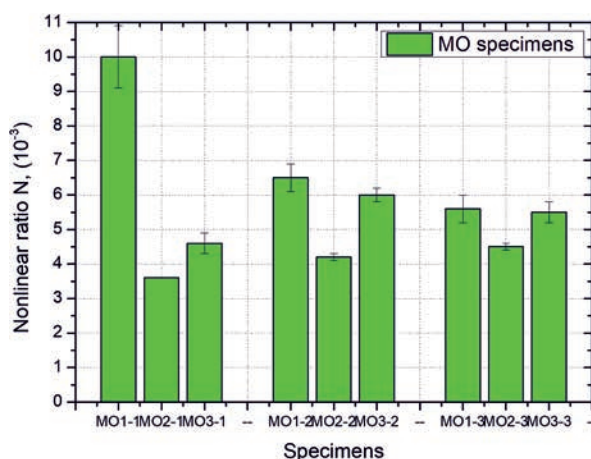


Fig. 15. Nonlinearity of the contaminated specimens (-1, -2, -3) as a function of MO level of contamination

Rys. 15. Nieliniowość zanieczyszczonych próbek (-1, -2, -3) w zależności od poziomu MO zanieczyszczenia

and levels of contamination.

According to the measurement results, all kinds of the contaminations studied in the context of aviation applications result in enhancement of the nonlinear response of the CFRP laminate which is an indication of deterioration of bonding quality. An anomalous increase in nonlinearity is revealed for a high level of thermal degradation that illustrates a strong loss of bonding strength induced by thermal degradation. A similar (but somewhat lower) increase in nonlinearity reveals and quantifies decrease in bonding strength caused by finger prints and release agent (composite component production scenario), di-icing fluid and faulty curing (repair scenario) contaminations.

7. Acknowledgement

This research is supported by European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 636494, project ComBoNDT (Quality assurance concepts for adhesive bonding of aircraft composite structures by advanced NDT).

8. References/Literatura

- [1] H. N. G. Wadley, "Interfaces: The next NDE challenge", in *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*. Boston, MA: Springer US, pp. 881–892, 1988. DOI 10.1007/978-1-4613-0979-6_1
- [2] P. Nagy, "Fatigue damage assessment by nonlinear ultrasonic material characterization", *Ultrasonics*, vol. 36, no. 1-5, pp. 375-381, 1998. DOI 10.1016/S0041-624X(97)00040-1
- [3] M. A. Breazeale, J. Philip, "Determination of third-order elastic constants from higher harmonic generation", *Physical Acoustics*, vol. 17, New York, Academic Press, 1965.
- [4] A. Gedroitz, V. A. Krasilnikov, "Elastic waves of finite amplitude and deviations from Hooke's law", *Soviet Physics JETP*, vol. 16, pp. 1122-1131, 1963.
- [5] W. T. Yost, J. Cantrell, "Materials characterization using acoustic nonlinearity parameters and harmonic generation: Engineering materials", in *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, vol. 9, Springer, Boston, MA, pp. 1669–1676, 1990. DOI 10.1007/978-1-4684-5772-8_215
- [6] J. Cantrell, W.T. Yost, "Effect of precipitate coherency strains on acoustic harmonic generation", *Journal of Applied Physics*, vol. 81, no. 7, pp. 2957-2962, 1997. DOI 10.1063/1.364327
- [7] J. Kim, A. Baltazar, J. W. Hu, S. I. Rokhlin, "Hysteretic linear and nonlinear acoustic responses from pressed interfaces", *International Journal of Solids and Structures*, vol. 43, no. 21, pp. 6436-6452, 2006. DOI 10.1016/j.ijsolstr.2005.11.006
- [8] P. Johnson, R. Guyer, *Nonlinear mesoscopic elasticity*. Weinheim: Wiley-VCH, 2009.
- [9] I. Solodov, "Ultrasonics of nonlinear contacts: Propagation, reflection and NDE-applications", *Ultrasonics*, vol. 36, no. 1-5, pp. 383-390, 1998. DOI 10.1016/S0041-624X(97)00041-3
- [10] I. Solodov, N. Krohn, G. Busse, "CAN: An example of nonclassical nonlinearity in solids", *Ultrasonics*, vol. 40, no. 1-8, pp. 621-625, 2002. DOI 10.1016/S0041-624X(02)00186-5
- [11] J. D. Achenbach, O. K. Parikh, "Ultrasonic detection of nonlinear mechanical behaviour of adhesive bonds", in *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*, vol. 10 B, Springer, Boston, MA, pp. 1837-1844, 1991. DOI 10.1007/978-1-4615-3742-7_91
- [12] Z. An, X. Wang, M. Deng, J. Mao, M. Li, "A nonlinear spring model for an interface between two solids", *Wave Motion*, vol. 50, no. 2, pp. 295–309, 2013. DOI 10.1016/j.wavemoti.2012.09.004
- [13] L.J. Jacobs, J. Kim, J. Qu, "Characterization of fatigue damage in nickel-base superalloy using nonlinear ultrasonic waves", in *Proc. Int. Congress on Ultrasonics*, Vienna, 2007.
- [14] W. Li, Y. Cho, J. D. Achenbach, "Detection of thermal fatigue in composites by second harmonic Lamb waves", *Smart Materials and Structures*, vol. 21, no.8, p. 085019, 2012. DOI 10.1088/0964-1726/21/8/085019
- [15] J. Zhao, V.K. Chhillara, B. Ren, H. Cho, J. Qiu, and C. J. Lissenden, "Second harmonic generation in composites: Theoretical and numerical analyses", *Journal of Applied Physics*, vol. 119, no. 6, p. 064902, 2016. DOI 10.1063/1.4941390
- [16] P. Malinowski, R. Ecauilt, T. Wandowski, W. Ostachowicz, "Evaluation of adhesively bonded composites by nondestructive technique", in *Proceedings of the SPIE Smart Structures/ NDE, Health Monitoring of Structural and Biological Systems 2017*, 2017. DOI 10.1117/12.2259852
- [17] Y. Zheng, R. Maev, I. Solodov, "Nonlinear acoustic applications for material characterisation: A review", *Canadian Journal of Physics*, vol. 77, pp. 927-967, 1999. DOI 10.1139/p99-059

Bogusław Olech

Informacje z oddziałów: Oddział Szczecin

W dniu 7 marca 2018 roku odbyło się Walne Zebranie Członków PTBNI DT SIMP Oddział w Szczecinie.

W Zebraniu wzięło udział 14 Członków (3 usprawiedliwiło swoją nieobecność), co stanowi 56% Członków uprawnionych do uczestnictwa w Zebraniu.

Gośćmi Zebrania byli:

- prof. dr hab. inż. Piotr Bielawski – Przewodniczący 47. Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących
 - Włodzimierz Fleischer – wiceprezes ZG SIMP
 - Zbigniew Nuemann – Prezes ZO SIMP w Szczecinie
- Ustępujący Zarząd złożył sprawozdanie z działalności

w kadencji 2014 – 2018, a zebrani udzielili jednogłośnie absolutorium.

W wyniku przeprowadzonych wyborów na kadencję 2018 – 2022 funkcję Prezesa objął Kol. Bogusław Olech, a do Zarządu wybrano Kol. Ryszarda Barta i Rafała Syca.

Wybrano również 3-osobową Komisję Rewizyjną.

Członkowie naszego Oddziału na Zebraniu wybrali Delegatów na Walne Zebrania: PTBNI DT SIMP i ZO SIMP w Szczecinie. Delegaci podjęli szereg Uchwał do przedstawienia na powyższych Zebraniach.

Przenieś swoje Badania wizualne w nowy wymiar z Mentorem Visual iQ

Zaawansowane wideo boroskopy umożliwiają inspektorom wykrywanie, pomiar oraz analizę nieciągłości przy pomocy 3-wymiarowych modeli, oraz współdzielenie tych obrazów i danych z odległymi ekspertami. Dokonuj pomiarów na zarejestrowanych obrazach i weryfikuj na prezentowanym równoległym modelu 3D.

Pomiar Fazowy 3D - opatentowana technologia wykorzystująca projekcję wzorca oraz analizę przesunięcia fazowego w celu generowania 3-wymiarowego modelu badanego obszaru. Doskonałej jakości, pełnoekranowy obraz z możliwością pomiaru w dowolnym momencie, bez konieczności wymiany obiektywów, zapewnia wiarygodne wyniki badań. Dostępne na sondach o średnicy 6,1 mm.

Pomiar Stereo 3D - połączenie opatentowanej technologii pomiaru stereo z zaawansowanymi algorytmami analizy obrazu do generowania 3-wymiarowych modeli badanych powierzchni. Sprawdzaj uzyskane wyniki pomiarów na prezentowanym równoległym modelu 3D.

Podjmuj trafniejsze decyzje z 3-wymiarowym modelem.

Pomiary w oparciu o 2-wymiarowe, płaskie obrazy w tradycyjnej technologii stereo lub cienia, mogą prowadzić do kosztownych pomyłek. Pomiar Fazowy lub Stereo 3D, dostępne tylko w urządzeniach GE serii Mentor Visual iQ, generują pełny 3-wymiarowy model obserwowanej powierzchni. Ten 3-wymiarowy model, wraz z umieszczonymi na nim punktami pomiarowymi, może być obracany i obserwowany pod różnymi kątami, minimalizując ryzyko pomyłek, umożliwia podjęcie optymalnej decyzji.



technologia badań wizualnych
Everest
Polska



Channel Partner
GE Oil & Gas

Everest Polska Sp. z o.o.

ul. Geodetów 176, 05-500 Piaseczno k. Warszawy
tel. (+48 22) 750 50 83, faks: (+48 22) 750 70 21
email: everestvit@everestvit.pl, www.everestvit.pl

Wybierz właściwy, dla Twojego badania, typ pomiaru.



Długość

- Prosty pomiar wielkości uszkodzeń lub elementów
- Długość pęknięcia
- Zmiana wielkości komponentu w wyniku odkształcenia lub erozji/korozji/zużycia
- Ocena wielkości wskaźników zużycia
- Położenie uszkodzenia na badanej części



Punkt do linii

- Uszkodzenia krawędzi łopatek turbin
- Szerokość przerwy
- Szerokość spoiny
- Brakujące krawędzie łopatek



Multi-Segment

- Całkowita długość pęknięcia
- Długość zapolerowania łopatek lub określenie kąta wejścia
- Pomiary odległości na powierzchniach nieregularnych lub zakrzywionych, dokładniejsze niż przy użyciu prostego pomiaru długości



Obszar

- Brzozy łopatek
- Uszkodzenia powłoki
- Powierzchnia wierzchołków lub korozji
- Zakres wpływu FOD



Głębokość

- Pomiar luzów wierzchołkowych
- Zagłębienia lub wżery korozyjne, erozyjne lub wpływu FOD
- Wewnętrzna średnica rury
- Wysokość spoiny
- Kamień na stojanie
- Szerokość przerwy



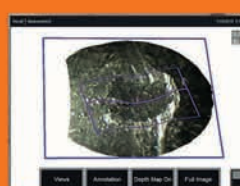
Profil głębokości

- Głębokość ubytków korozyjnych lub zagłębień erozyjnych
- Głębokość uszkodzeń z powodu FOD
- Wysokość spoiny lub głębokość rys, rowków, nacięć
- Szybka ocena kształtu powierzchni



Profil obszaru głębokości

- Korozja, erozja i wżery
- Szkody spowodowane FOD
- Maksymalna wysokość spawu
- Maksymalna głębokość bruzdy



Płaszczyzna pomiarowa

- brakujące narożniki łopatek - z pomiarem Obszaru
- uszkodzenia krawędzi łopatek - z pomiarem Punkt do linii
- pomiar luzu wierzchołkowego - z pomiarem Głębokości
- pomiar małych elementów - z pomiarem Długości lub Punkt do linii
- analiza wielkości zagłębienia - z Profilem obszaru głębokości



Jerzy Nowacki*, Norbert Sieczkiewicz
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Postępy w ocenie NDT jakości kompozytów polimerowych w warunkach produkcyjnych

Advances in NDT assessment of the quality of polymer composites in production conditions

ABSTRACT

This article presents non-destructive polymer composite systems in terms of current solutions in the area of methodology and devices. A list of available standards for non-destructive polymer composites established by ASTM International, the International Organization for Standardization (ISO) and the SAE has been developed. In the experiment, Flir ONE cameras were tested in the NDT workshop for carbon-epoxy composites. The possibility of using the Flir One thermal imaging camera for basic control of polymer composites in small production facilities has been demonstrated.

Keywords: *thermography, thermographic camera, nondestructive testing of composites*

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono perspektywiczne systemy badań nieniszczących kompozytów polimerowych w aspekcie aktualnych rozwiązań w obszarze metodyki i urządzeń. Opracowano wykaz dostępnych norm dotyczących badań nieniszczących kompozytów polimerowych ustanowionych przez ASTM International, Międzynarodową Organizację Normalizacyjną ISO oraz SAE. W eksperymencie przeprowadzono próby możliwości zastosowania kamery Flir ONE w warunkach warsztatowych do badań NDT kompozytowych płyt węglowo-epoksydowych. Wykazano możliwość wykorzystywania kamery termowizyjnej Flir One do podstawowej kontroli kompozytów polimerowych w małych zakładach produkcyjnych.

Słowa kluczowe: *termografia, kamera termograficzna, badania nieniszczące materiałów kompozytowych*

1. Wstęp

Szerokie zastosowanie kompozytów polimerowych oraz wysokie wymagania dotyczące niezawodności i wymaganych współczynników bezpieczeństwa, osiągających wartość 1,5 według amerykańskich przepisów lotniczych organizacji Federal Aviation Administration (FAR § 25.303) [1] w lotnictwie i kosmonautyce zdecydowały o szczególnym znaczeniu badań nieniszczących w tych przemysłach.

Z analizy danych sprzedażowych firmy Toray – lidera w produkcji włókna węglowego [2], jednym z największych odbiorców produktów tej firmy jest przemysł lotniczy i kosmonautyczny [3]. Przykładem samolotów pasażerskich, w których zastosowano kompozyty na dużą skalę są konstrukcje samolotów Airbus A350 XWB oraz Boeing B787 Dreamliner, które wykonane są odpowiednio z 53% i 50% materiałów kompozytowych [4, 5].

W 2014 agencja rządu Stanów Zjednoczonych NASA stworzyła kompozycja rządu zbiornik na paliwo o średnicy 5,5 metra. Space Exploration Technologies Corporation (SpaceX). Obecnie pracuje nad projektem Interplanetary Transport System, którego celem będzie możliwość wysłania wyprawy złożonej z co najmniej 100 osób na Marsa [6]. Kluczowym aspektem realizacji tej wyprawy ma być opanowanie produkcji zbiornika na paliwo o średnicy 12 metrów wykonanego z kompozytu węglowego [7].

Z powodu dużego zapotrzebowania przemysłu lotniczego na materiały kompozytowe, to właśnie tam intensywnie rozwijane są technologie dotyczące materiałów kompozytowych, w tym także sektor badań nieniszczących. Dlatego też normy SAE i ASTM obejmują badania nieniszczące kompozytów

w zastosowaniach lotniczych i kosmonautycznych (Tab. 1).

2. Innowacyjne techniki badań nieniszczących

Do podstawowych metod badań nieniszczących kompozytów zalicza się techniki ultradźwiękowe, termowizyjne, radiologiczne, wizualne, penetracyjne, prądów wirowych, emisji akustycznej, drgań rezonansowych i optyczne [8]. W związku z dynamicznym wzrostem popytu na roboty w gospodarce światowej oraz polskiej, jak wynika z badań przeprowadzonych przez Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową [9, 10], można oczekiwać, że w najbliższej przyszłości coraz większe znaczenie będą zyskiwać zrobotyzowane badania NDT.

2.1 Techniki ultradźwiękowe

Firma TWI pracowała nad projektem IntACom, którego celem było zwiększenie wydajności badań nieniszczących [11, 12, 13]. Efektem projektu było stworzenie zrobotyzowanej celi inspekcyjnej składającej się z dwóch 6-osiowych robotów. Efektor robota wykorzystuje pojedynczy przetwornik ultradźwiękowy oraz metodę ultradźwiękową phased array (Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT)), które zostały zamontowane w dyszy strumienia wody. Dysza, wykonana metodą druku 3D, zapewnia stałe sprzężenie akustyczne, kierując wiązkę fal na powierzchnię elementu. Aby ochronić głowice przed uszkodzeniami, zastosowano magnetyczny uchwyt wraz z mikrowyłacznikami, które w momencie kolizji i rozdzielania się uchwytu zatrzymują robota [14].

Firma GE oferuje produkt, służący do zrobotyzowanej inspekcji kompozytów, pod nazwą Hydrastar. Występuje on w dwóch konfiguracjach robotów – pojedynczej i podwójnej. System pomiarowy umieszczony na końcu ramienia

*Autor korespondencyjny. E-mail: jerzy.nowacki@zut.edu.pl

robota może wykorzystywać technologię phased array lub konwencjonalną Through Transmission Ultrasonic (TTU). Za pomocą odpowiednich głowic w jednym przejściu można kontrolować promienie zewnętrzne i wewnętrzne, teowniki lub przyspieszyć procedurę badań za pomocą głowicy cechującej się 15 milimetrowym obszarem skanowania. Oferowana jest również głowica wykorzystująca technikę Pulse Echo o szerokości skanowania 38mm [15].

Tab. 1. Wykaz norm dotyczących badań nieniszczących kompozytów

Tab. 1. List of standards for non-destructive testing of composites

Numer normy	Tytuł normy
Metoda emisji akustycznej	
ASTM E1495/ E1495M-12	Standard Guide for Acousto-Ultrasonic Assessment of Composites, Laminates, and Bonded Joints
ASTM E2191/ E2191M-16	Standard Practice for Examination of Gas-Filled Filament-Wound Composite Pressure Vessels Using Acoustic Emission
ASTM E2661/ E2661M-15	Standard Practice for Acoustic Emission Examination of Plate-like and Flat Panel Composite Structures Used in Aerospace Applications
PN-EN 15857:2010	Badania nieniszczące - Emisja akustyczna - Badanie polimerów wzmocnionych włóknem - Określona metodologia i ogólne kryteria oceny
Metoda radiologiczna	
ASTM E2662-15	Standard Practice for Radiographic Examination of Flat Panel Composites and Sandwich Core Materials Used in Aerospace Applications
Metoda ultradźwiękowa	
ASTM E2580-12	Standard Practice for Ultrasonic Testing of Flat Panel Composites and Sandwich Core Materials Used in Aerospace Applications
Szerografia	
ASTM E2581-14	Standard Practice for Shearography of Polymer Matrix Composites and Sandwich Core Materials in Aerospace Applications
Metoda termograficzna	
ASTM E2582-07	Standard Practice for Infrared Flash Thermography of Composite Panels and Repair Patches Used in Aerospace Applications
Personel badań nieniszczących	
PN-EN 4179:2017	Lotnictwo i kosmonautyka -- Kwalifikacja i zatwierdzanie personelu badań nieniszczących
Normy ogólnego przeznaczenia	
ASTM E2533-16a	Standard Guide for Nondestructive Testing of Polymer Matrix Composites Used in Aerospace Applications
ASTM E2981-15	Standard Guide for Nondestructive Testing of the Composite Overwraps in Filament Wound Pressure Vessels Used in Aerospace Applications
SAE ARP5606A	Composite Honeycomb NDI Reference Standards
SAE ARP5605A	Solid Composite Laminate NDI Reference Standards

Stosowanie wody jako cieczy sprzęgającej wymaga zastosowania pomp (możliwy hałas), kontroli stanu instalacji, filtrów oraz dbania o jakość wody [16]. Aby uniknąć tych niedogodności, należałoby rozważyć zastosowanie w przyszłych projektach Laser Ultrasonics (LUS). Metoda ta wykorzystuje termosprężyste właściwości materiałów kompozytowych. Materiał absorbuje światło laserowe, które następnie przetwarzane jest na ciepło. Nagrzany obszar rozszerza się, wywołując naprężenia normalne i styczne, a więc niejako falę naprężeń. Cechą kompozytów o osnowie organicznej jest to, że fala ta zawsze rozchodzi się prostopadłe do powierzchni. Dzięki temu brak jest szczególnych wymagań, co do ustawienia elementów badanych, gdyż wiązka lasera może padać pod różnymi kątami. Układ detekcji wykorzystuje interferometr Fabry'ego-Perota i laser pulsacyjny. Rozwiązanie takie oferuje firma PAR Systems pod nazwą handlową LaserUT® [17, 18].

DolphiCam 2D Ultrasonic Array Camera jest urządzeniem służącym do ultradźwiękowych badań kompozytów, które można podłączyć do tabletu lub komputera poprzez interfejs USB. Pozwala ono na pracę na sucho na błyszczących powierzchniach, ciecz sprzęgająca może być wymagana na chropowatych powierzchniach. Za jego pomocą możliwe jest tworzenie obrazów typu A, B, C-scan. Na rynku dostępne są dwa modele, jeden o oznaczeniu CF08, który pozwala na badanie kompozytów CFRP o grubości do 8 mm, oraz drugi o oznaczeniu CF16, za pomocą którego można analizować materiały do grubości 16mm. Kamera jest wykorzystywana podczas badań nieniszczących zbiornika paliwa wykonanego z kompozytu węglowego, wykorzystywanego w samolocie Boeing 787 Dreamliner [19, 20].

2.2 Techniki emisji akustycznej

WichiTech RD3 oraz Mitsui Woodpecker są urządzeniami służącymi do badań kompozytów metodą akustyczną, eliminującymi błąd ludzki, który może wystąpić przy klasycznym opukiwaniu młotkiem np. w pomieszczeniach o dużym natężeniu hałasu. Najnowszy model tego urządzenia firmy Mitsui, WP-632AM, wyposażony jest w ekran LCD, który wyświetla wartości zmierzone i rzeczywiste celem szybkiego porównania przez operatora, pozwala również na dostęp do historii pomiarów. Urządzenie można wyposażyć w opcjonalny ploter XY, który umożliwia stworzenie kolorowej mapy składającej się z kafelków (punktów pomiarowych) w różnych odcieniach. Zapewnia to szybkie określenie ilości defektów oraz ukazuje przybliżoną wielkość i lokalizację wady w czasie rzeczywistym [21, 22, 23, 24].

2.3 Techniki termograficzne

Wykonywanie pomiarów termograficznych metodą impulsową może być używane do wykrywania rozwarstwień w materiałach kompozytowych. Firma Flir opisała na swojej stronie internetowej wykorzystanie kamery FLIR SC7000 do kontroli kompozytowych ram rowerowych [25].

Mając na uwadze fakt, iż termografia staje się coraz bardziej dostępna, jak na przykład sensor FLIR Lepton®, który został zastosowany w smartfonie CAT S60 [26], czy też obecne na rynku akcesoria do telefonów z systemem iOS

i Android, takie jak Flir ONE, Seek Thermal CompactPRO oraz I3 Systems Inc. Thermal Expert, jest to bardzo obiecujący kierunek rozwoju badań nieniszczących kompozytów w małych warsztatach.

Rozwiązaniem, które zostało opracowane w szczególności na potrzeby badań materiałów kompozytowych jest produkt C-CheckIR opracowany przez firmę Automation Technology GmbH. C-CheckIR wykorzystuje technikę aktywnej termografii. Rozwiązanie to pozwala na przeanalizowanie obszaru o wymiarach 0,5 x 0,4 m, z możliwością zawężania oraz rozszerzania granic badanego rejonu. Czas pomiaru przeciętnie wynosi mniej niż 15 sekund, nie jest wymagane przygotowywanie powierzchni przed badaniem. System C-CheckIR umożliwia badanie elementów na bieżąco oraz może zostać zrobotyzowany. Produkt jest także dostępny jako urządzenie, które może służyć do badań w lotnictwie zgodnie z procedurą Airbus NTM 55-40-50 [27].

Thermal Wave Imaging (TWI) również oferuje produkty wykorzystujące termografię do badań nieniszczących materiałów kompozytowych. W ofercie posiadają systemy dla przemysłu i laboratoriów, urządzenia zrobotyzowane oraz przenośny system VoyagerIR [28].

2.4 Techniki shearografii laserowej

Szerografię oferuje firma Dantec Dynamics np. jako przenośne systemy FlawExplorer, składające się układu pomiarowego i terminalu PC. System wyposażony jest w 4 lub 8 diod laserowych, pozwalając na badanie pola o powierzchni od 100 x 100 mm do 2 x 2 m na jedno zdjęcie. System może zostać łatwo zautomatyzowany w połączeniu z robotem w celu wykonywania zrobotyzowanych badań NDT.

Drugim systemem oferowanym przez firmę Dantec Dynamics jest produkt o nazwie Q810. Jest to system wyposażony w głowicę próżniową, pracujący niezależnie od warunków otoczenia, pozwalający na przebadanie pola o powierzchni 300 mm x 200 mm co 10 sekund. Zarówno optyka, jak i dioda lasera są hermetycznie chronione przed pyłem i zanieczyszczeniami. Samodopasowująca się uszczelka pozwala na badanie powierzchni o skomplikowanych kształtach. Oprogramowanie dołączone do urządzenia ma możliwość automatycznego wykrywania wad, eliminując błąd ludzki [29 - 31].

3. Próby termograficznych badań delaminacji kompozytu węglowo-epoksydowego

3.1 Cel badań

W kompozytach jedną z wad, która występuje stosunkowo często i może doprowadzić do zniszczenia elementu, jest delaminacja. Rozwarstwienie wiąże się z utratą sztywności i wytrzymałości, co jest niewskazane, gdy trzeba zapewnić wymaganą niezawodność i bezpieczeństwo konstrukcji. W przypadku kompozytów „sandwich” z przekładkami w postaci plastra miodu, wykorzystywanych w przemyśle lotniczym, problemem jest wilgoć, która przez mikropęknięcia na powierzchni nośnych warstw kompozytowych może przedostać się do wnętrza komórek rdzenia. Woda może również dostać się do kompozytu przez miejsca elementów złącznych. Samolot na wysokości przelotowej narażony jest

na działanie wysokich, ujemnych temperatur, co w przypadku zawilgoconej przekładki może spowodować zwiększenie objętości zamarzającej wody i w konsekwencji uszkodzeń struktury, a nawet zerwania części poszycia [32]. W związku z tym istnieje potrzeba sprawdzenia możliwości wykorzystania kamery termograficznej kompatybilnej ze smartfonem do szybkich inspekcji struktur kompozytowych.

3.2 Materiał i metoda badań

Próby termograficznych badań delaminacji kompozytu węglowo-epoksydowego przeprowadzono z użyciem kamery termowizyjnej i akcesorium Flir One do telefonu z systemem iOS (Rys. 1, 2) .



Rys. 1. Kamera termowizyjna Flir One podłączona do tabletu iPad mini. Dzięki symetryczności złącza Lighting, kamerę można zamontować w jednym z dwóch kierunków – w stronę operatora lub przeciwnie do niego.

Fig. 1. Flir One thermal camera connected to the iPad mini. With the symmetry of the Lighting connector, the camera can be mounted in one of two directions - in the direction of the operator or vice versa.

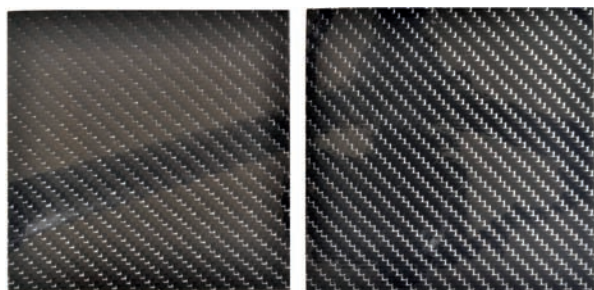
Firma Flir opracowała technologię MSX, która łączy obraz termiczny z konturami obrazu widzialnego, dzięki czemu obraz cechuje się większą szczegółowością. Rozdzielczość sensora wynosi 160 x 120 px, a czułość termiczna - 100 mK. Kamera posiada dwa obiektywy, więc przy bliskich odległościach od przedmiotu badanego może być widoczny problem

paralaksy. Niedogodnością, przy niewielkiej wielkości zasymulowanych wad, jest zwiększenie szczegółowości obrazu poprzez wprowadzenie konturów obrazu widzialnego, co może przeszkodzić w prawidłowej ocenie próbek.



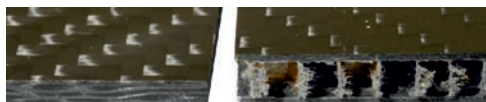
Rys. 2. Akcesorium Flir One do telefonu z systemem iOS (złącze Lighting)

Fig. 2. Flir One accessory for iOS phone (Lighting connector)



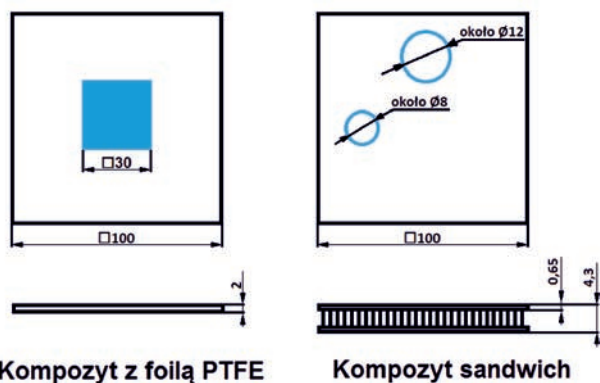
Rys. 3. Próbkę kompozytową z folią PTFE (lewa) oraz sandwich (prawa)

Fig. 3. Composite sample with PTFE foil (left) and sandwich (right)



Rys. 4. Fragment przekroju próbki kompozytowej z folią PTFE (lewa) oraz sandwich (prawa)

Fig. 4. Fragment of cross section of composite sample with PTFE film (left) and sandwich (right)

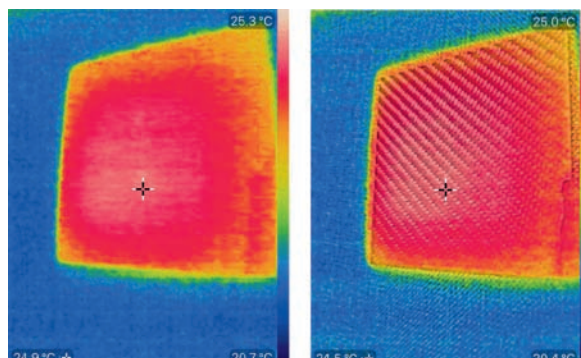


Rys. 5. Lokalizacja i wymiary zasymulowanych wad

Fig. 5. Location and dimensions of simulated defects

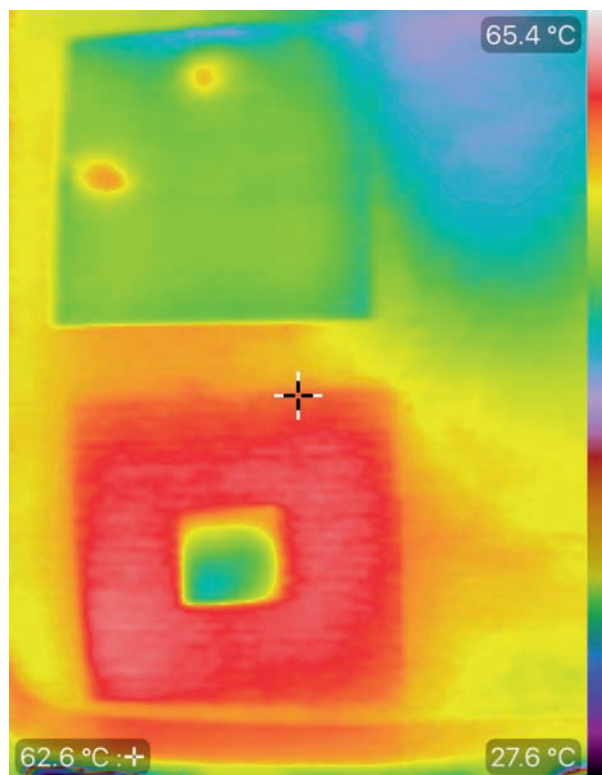
W związku z tym, jako oprogramowanie użyte do zapisania zdjęć termograficznych wybrano Thermal Camera+

For Flir ONE autorstwa Georga Friedricha. Aplikacja ta pozwala na wyłączenie funkcji MSX. Wodę wewnątrz komórki rdzenia wprowadzono strzykawką lekarską, wbijając igłę w wybranych miejscach próbki.



Rys. 6. Porównanie obrazu termicznego (lewy) z obrazem termicznym połączonym z konturami obrazu widzialnego (prawy). Wzrost szczegółowości widać szczególnie na powierzchni próbki, na której widoczny jest splot tkaniny węglowej.

Fig. 6. Comparison of thermal image (left) with thermal image combined with visual contours (right). The increase in detail is particularly visible on the surface of the sample, where the weave of carbon fabric is visible



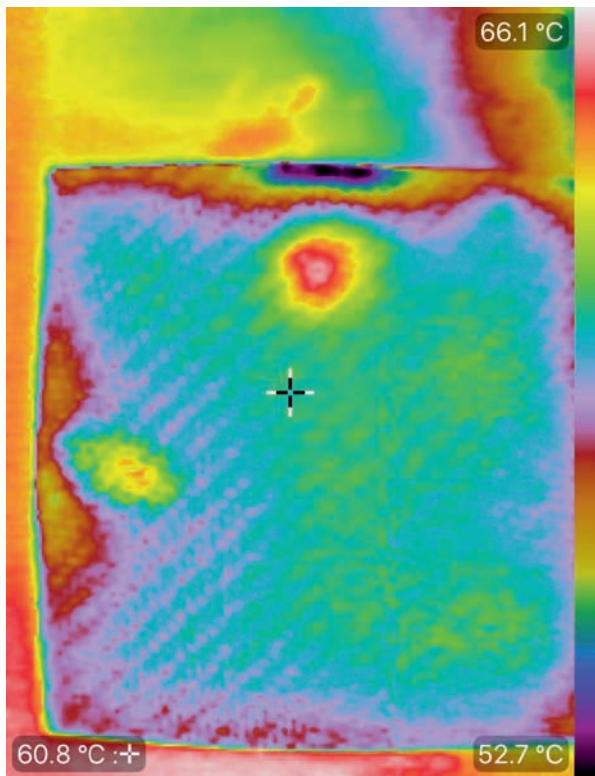
Rys. 7. Wady widoczne w próbkach. Próbkę z folią PTFE wykazuje w obszarze defektów niższą temperaturę, gdyż kamera znajdowała się po przeciwnej stronie źródła ciepła. W przypadku próbki sandwich została ona obrócona tak, aby nagrzana strona próbki skierowana była w stronę kamery, stąd wada widoczna jest jako obszar o wyższej temperaturze.

Fig. 7. Disadvantages visible in samples. The PTFE foil shows a lower temperature in the defect area as the camera is on the opposite side of the heat source. In the case of a sandwich sample, it is rotated so that the heated side of the sample faces the camera, so the defect is seen as a higher temperature area.

Próbki zostały położone na stole grzewczym i ogrzane do temperatury około 90°C. Następnie próbki przełożono na blachę rozgrzaną do temperatury około 50°C. Próbkę sandwich podczas przekładania obrócono o 180° tak, aby strona nagrzana była w kierunku kamery termowizyjnej.

Badania przeprowadzono na próbkach kompozytowych węglowo-epoksydowych o wymiarach 100 x 100 mm (Rys. 3, 4). W celu zasymulowania rozwarstwienia w próbce wykonanej metodą RTM wprowadzono fragment folii wykonanej z PTFE, o wymiarach 30 x 30 mm, pomiędzy środkowymi warstwami zbrojenia (Rys. 5). Grubość próbki z delaminacją wynosiła 2 mm. W przypadku próbki przekładkowej grubość nośnych warstw kompozytowych wynosi 1,3 mm. Grubość przekładki ulowej to 3 mm, zaś całkowita grubość próbki to 4,3 mm.

W wyniku badań zarejestrowano obrazy termiczne i obrazy termiczne połączone z konturami obrazu widzialnego próbek z zasymulowanymi wadami (Rys. 6 - 8).

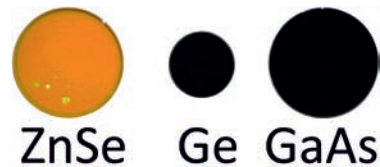


Rys. 8. Wady widoczne na próbce sandwich, na brzegach próbki obecne są miejsca, przez które wprowadzano ciecz za pomocą strzykawki

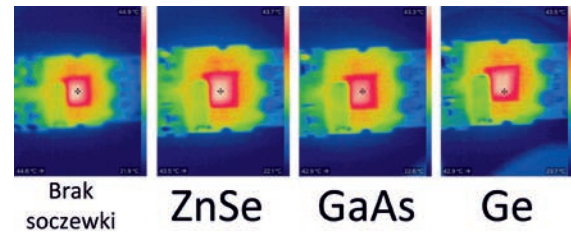
Fig. 8. Defects visible on the sandwich sample, on the edges of the sample, are the places through which the liquid was introduced by means of a syringe

3.3 Jakość obrazu

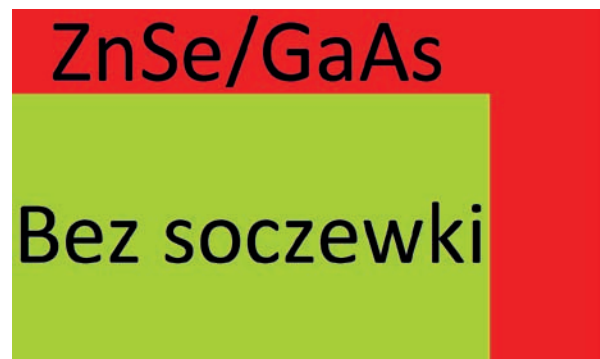
Problemem podczas badania małych elementów lub z bliskich odległości może być brak ostrości obrazu termowizyjnego. W celu jego poprawy można zastosować optykę wykonaną z np. arsenku galu GaAs, selenku cynku ZnSe lub germanu Ge (Rys. 9). Wadą ZnSe jest jego skłonność do zarysowań. Soczewki wykonane ZnSe oraz GaAs użyte do badań mają 20 mm średnicy oraz ogniskową 64,5 mm. Soczewka z Ge ma średnicę 12 mm oraz ogniskową 50,8 mm.



Rys. 9. Soczewki użyte w badaniu
Fig. 9. Lenses used in the study



Rys. 10. Karta dźwiękowa USB. Widoczne powiększenie obrazu oraz zwiększenie jego jakości po zastosowaniu każdej z soczewek.
Fig. 10. USB sound card. The picture shows magnification of the object and increase in its quality after using different types of lenses.



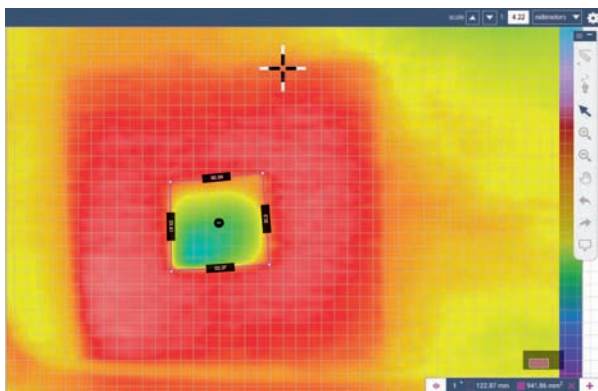
Rys. 11. Porównanie wielkości powiększenia obiektu z wykorzystaniem soczewki GaAs/ ZnSe z wielkością obrazu zarejestrowanego bez soczewki

Fig. 11. Comparison of GaAs / ZnSe object magnification with image size recorded without lens

Telefon wraz z kamerą termowizyjną zamontowano na statywie. Odległość kamery od przedmiotu badanego, czyli karty dźwiękowej USB, była stała. Kolejno przykładano soczewki do obiektywu kamery Flir One i zapisywano zdjęcia. Zastosowanie soczewek GaAs, ZnSe i Ge spowodowało widoczne powiększenie obrazu oraz jego szczegółowości (Rys. 10, 11).

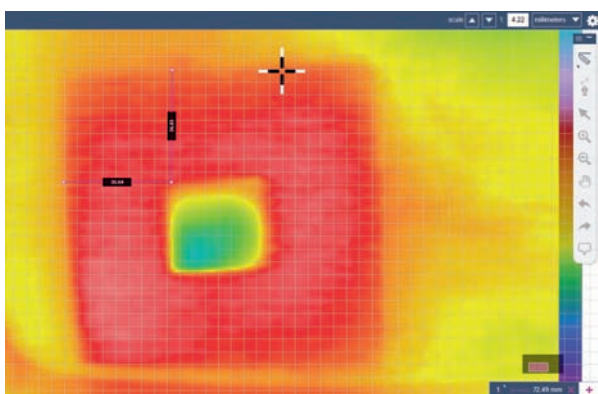
3.4 Wymiary i umiejscowienie wad

W celu opisanie rozmiaru oraz lokalizacji wad wykorzystano oprogramowanie Area Calculator - SketchAndCalc firmy Icalc, Inc. Program oferowany jest w postaci aplikacji internetowej oraz aplikacji mobilnej. Zaletą drugiego rozwiązania jest możliwość edycji termogramu na tym samym urządzeniu, którym wykonano zapis zdjęcia z kamery Flir ONE. Program ten pozwala na wprowadzenie wartości referencyjnej długości z uprzednio wykonanego zdjęcia. W przypadku znanych wymiarów próbki, tj. 100 x 100 mm jako wartość referencyjną przyjęto jedną z krawędzi próbki. Następnie za pomocą rysika oznaczano na ekranie kontury wad. Program automatycznie generował, na podstawie



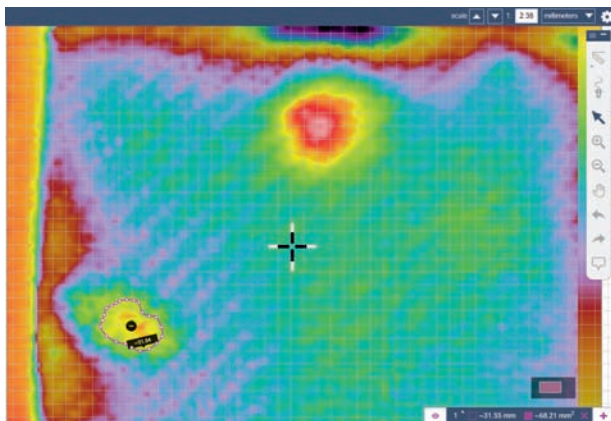
Rys. 12. Określenie wielkości zasymulowanej wady w postaci folii PTFE

Fig. 12. Determination of the size of the simulated defect in the form of PTFE foil



Rys. 13. Określenie lokalizacji wady w postaci folii PTFE

Fig. 13. Determination of defect location in the form of PTFE foil

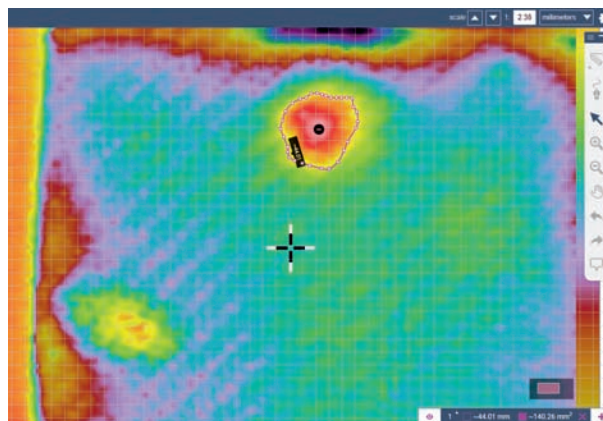


Rys. 14. Określenie wielkości jednej z dwóch wad w próbce sandwich

Fig. 14. Determination the size of one of the two defects in the sandwich sample

wprowadzonych punktów, obwód oraz pole powierzchni oznaczonych obszarów.

Fragment folii PTFE miał wymiary 30x30mm i uzyskane wyniki były bardzo zbliżone do tej wartości. Również spróbowano określić lokalizację wady, a dokładniej narożnika folii PTFE (Rys. 12 - 15). W przypadku próbki sandwich określono jedynie wielkości wad.



Rys. 15. Określenie wielkości drugiej wady w próbce sandwich

Fig. 15. Determination the size of the second defect in the sandwich sample

4. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych testów wykazano przydatność kamery termowizyjnej Flir One w warsztatowych badaniach delaminacji kompozytów epoksydowo – węglowych.

Opracowanie technik termograficznych badań delaminacji kompozytów polimerowych z użyciem kamery termowizyjnej i akcesorium Flir One do telefonu z systemem iOS otwiera możliwość prowadzenia podstawowej inspekcji materiałowej kompozytowych w małych zakładach produkcyjnych, a nawet ze względu na prostotę - również przez hobbystów.

Istnieje potrzeba przeprowadzenia dalszych badań w celu określenia możliwości wykrywania innych wad np. porów, jak również określenia wielkości wad możliwych do wykrycia analizowaną metodą.

W celu poprawy jakości obrazowania małych elementów za pomocą mobilnej kamery Flir One można zastosować tanie i łatwo dostępne soczewki do laserów.

Przyszłością badań materiałów kompozytowych jest możliwość ich automatyzacji lub robotyzacji, co umożliwi wykluczenie ewentualnego błędu człowieka podczas pomiarów oraz przyspieszy proces badania NDT, co ma znaczenie szczególnie podczas produkcji seryjnej.

5. Literatura/References

- [1] F. Shanley, "Historical Note on the 1.5 Factor of Safety for Aircraft Structures", Journal of the Aerospace Sciences, vol. 29, no. 2, pp. 243-244, 1962.
- [2] "Carbon fiber market share by company", rmi.org, 2011. [Online]. Available: http://www.rmi.org/RFGGraph-Carbon_fiber_market_share_by_company. [Accessed: 06- Mar- 2017].
- [3] "TORAY", Toray.com. [Online]. Available: http://www.toray.com/ir/individual/ind_012.html. [Accessed: 23- May- 2017].
- [4] B. Lu, "The Boeing 787 Dreamliner: Designing an Aircraft for the Future", Journal of Young Investigators, 2010.
- [5] K. Campbell, "Airbus to start manufacturing parts for new A350 XWB in late '09", Engineering News, 2009. [Online]. Available: <http://www.engineeringnews.co.za/article/airbus-to-start-manufacturing-parts-for-new-a350-xwb-in-late-09-2009-05-11>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [6] M. Wall, "SpaceX's Elon Musk Unveils Interplanetary Spaceship to Colonize Mars", Space.com, 2016. [Online]. Available: <https://www.space.com/34210-elon-musk-unveils-spacex-mars-colony-ship.html>. [Accessed: 12- Mar- 2018].

- [7] D. Mosher, "Elon Musk is about to test the 'trickiest' part of his Mars spaceship — a giant, potentially explosive black orb", Business Insider, 2016. [Online]. Available: <http://www.businessinsider.com/spacex-carbon-fiber-fuel-tank-ocean-ship-test-2016-10?IR=T>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [8] S. Ochelski, Metody doświadczalne mechaniki kompozytów konstrukcyjnych. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2004.
- [9] K. Łapiński, "Wpływ robotyzacji na konkurencyjność polskich przedsiębiorstw", Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową, 2016. [Online]. Available: http://ahk.pl/fileadmin/ahk_polen/DEinternational/Automatik2016/Krzysztof_Lapinski_INBnGR.pdf. [Accessed: 12- Mar- 2017].
- [10] K. Łapiński, M. Peterlik and B. Wyżnikiewicz, "Wpływ robotyzacji na konkurencyjność polskich przedsiębiorstw (II edycja raportu)", Instytut Badań nad Gospodarką Rynkową, 2015. [Online]. Available: http://www.ibngr.pl/content/download/2067/19573/file/Roboty_2015.pdf. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [11] B. Fitzsimons, "Web Exclusives : Aerospace Testing International", Aerospacetestinginternational.com. [Online]. Available: <http://www.aerospacetestinginternational.com/articles.php?ArticleID=1185>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [12] "Robotic automated NDT inspection boost for the aerospace industry", Twi-global.com, 2014. [Online]. Available: <http://www.twi-global.com/news-events/news/2014-09-robotic-automated-ndt-inspection-boost-for-the-aerospace-industry>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [13] I. Cooper, I. Nicholson, D. Yan, B. Wright, D. Liaptsis and C. MINEO, "DEVELOPMENT OF A FAST INSPECTION SYSTEM FOR COMPLEX COMPOSITE STRUCTURE - THE INTACOM PROJECT", Ndt.net, 2013. [Online]. Available: http://www.ndt.net/article/aero2013/content/papers/45_Cooper.pdf. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [14] B. Wright, I. Cooper, P. Nicholson, C. Mineo and S. Pierce, "PAUT Inspection of Complex Shaped Composite Materials through 6 DOFs Robotic Manipulators", Twi-global.com, 2014. [Online]. Available: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/paut-inspection-of-complex-shaped-composite-materials-through-6-dofs-robotic-manipulators>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [15] "Hydrastar Robotic Ultrasonic Solutions for Composites Inspection", Gemeasurement.com, 2015. [Online]. Available: https://www.gemeasurement.com/sites/gemc.dev/files/geit-60026_hydrastar_en_0.pdf. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [16] J. Szelążek, "Tworzywa sztuczne jako ośrodki sprzęgające w ultradźwiękowych badaniach materiałów", Tworzywa sztuczne i chemia, vol. 52, no. 2, pp. 21-24, 2010.
- [17] "LaserUT™", Par.com, 2013. [Online]. Available: <http://www.par.com/files/9913/6640/3159/WhatIsLaserUT.pdf>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [18] O. Pétillon, J. Dupuis, D. David, H. Voillaume and H. Trétout, "Laser Ultrasonics : A Non Contacting NDT System", Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, pp. 1189-1195, 1995.
- [19] "DolphiCam 2D Ultrasonic Array Camera - JR Technology - Composite test and repair specialists and production engineers", Jrtech.co.uk, 2015. [Online]. Available: <http://www.jrtech.co.uk/products/ndt-and-inspection/141-dolphicam-2d-ultrasonic-array-camera>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [20] "Dolphicam", Avionteq.com, 2014. [Online]. Available: <http://www.avionteq.com/Document/Dolphicam.pdf>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [21] "Woodpecker WP-632 Handpiece - JR Technology - Composite test and repair specialists and production engineers", Jrtech.co.uk. [Online]. Available: <http://www.jrtech.co.uk/en/ndt-and-inspection/99-woodpecker-wp-632-handpiece>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [22] "Woodpecker WP-632AM with Optional XY Plotter - JR Technology - Composite test and repair specialists and production engineers", Jrtech.co.uk. [Online]. Available: <http://www.jrtech.co.uk/en/ndt-and-inspection/115-launch-of-new-woodpecker-wp-632am>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [23] "Woodpecker", Wp632.cadex.co.jp. [Online]. Available: <http://wp632.cadex.co.jp/products/woodpecker.htm>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [24] "Diagnose Equipment Issues Fast With the RD3 Hammer at WichiTech - Composite Repair Systems, Smallest & Most Powerful Hot Bonder: Baltimore, MD", Composite Repair Systems, Smallest & Most Powerful Hot Bonder: Baltimore, MD, 2012. [Online]. Available: <http://www.wichitech.com/blog/index.php/diagnose-equipment-issues-fast-with-the-rd3-hammer-at-wichitech/>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [25] "FLIR thermal imaging cameras help detect material failures in bikes", Flirmedia.com. [Online]. Available: http://www.flirmedia.com/MMC/THG/Brochures/T820254/T820254_EN.pdf. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [26] "Cat® Rugged Phones | Cat phones", Catphones En Gb. [Online]. Available: <http://www.catphones.com/en-gb/features/integrated-thermal-imaging>. [Accessed: 09- Mar- 2017].
- [27] "Automation Technology Vision Sensors and Systems", Automationtechnology.de. [Online]. Available: http://www.automationtechnology.de/cms/wp-content/uploads/2016/05/c-checkir-sensor_web-.pdf. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [28] "Thermal Wave Imaging, Inc.", Thermalwave.com. [Online]. Available: <http://www.thermalwave.com/1/376/index.asp>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [29] "Shearography - Non Destructive Testing (NDT) Measurement Systems", Dantecdynamics.com. [Online]. Available: <https://www.dantecdynamics.com/shearography-non-destructive-testing>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [30] <https://www.prager-elektronik.at/>. [Online]. Available: http://www.prager-elektronik.at/datenblaetter/schwingung/PI-Q-810_09_01.pdf. [Accessed: 10- Mar- 2017].
- [31] "New FlawExplorer inspection system for NDT & Quality Control applications", Dantecdynamics.com, 2016. [Online]. Available: <https://www.dantecdynamics.com/news/new-ndt-system-inspect-areas-up-to-2-m2>. [Accessed: 12- Mar- 2018].
- [32] D. Thompson and D. Chimenti, Review of progress in quantitative nondestructive evaluation. New York: Plenum Press, 1996.



INSTYTUT SPAWALNICTWA
Polskie Spawalnictwe Centrum Doskonalości



CERTYFIKACJA SYSTEMÓW ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ

**WG WYMAGAŃ NORMY PN-EN ISO 9001
I SYSTEMÓW ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ
W SPAWALNICTWIE**

**WG WYMAGAŃ NORM PN-EN ISO 3834-2: 2007,
PN-EN ISO 3834-3: 2007, PN-EN ISO 3834-4: 2007**



Instytut Spawalnictwa
ul. Bł. Czesława 16-18, 44-100 Gliwice
tel.: 32 231 00 11, fax: 32 231 46 52
is@is.gliwice.pl, www.is.gliwice.pl

Paweł Irek*, Jacek Słania, Leszek Grolik
Instytut Spawalnictwa, Zakład Badań Nieniszczących, Gliwice

Czas wywoływania w badaniach szczelności metodą penetracyjną w aluminium i jego stopach

Development time in the leak testing by penetrant method in aluminum and its alloys

ABSTRACT

In the work, leak testing by penetrant method tests were carried out using the AlMg5 aluminum alloy method with plates simulating slits from the above-mentioned material. The tests were aimed at checking the influence of individual factors, such as the fracture depth, the position of penetrant application and the number of applications for developing time. The research was based on the measurement of development time depending on the set factors influencing this process. The dependencies determined allow the estimation of the minimum development time to detect leaks in the penetration method. Information in this field should make it easier to make decisions about the release of a product into service or its repair.

Keywords: imperfection, defect, quality assurances, penetrant testing, leak testing

STRESZCZENIE

W wyniku spawania mogą pojawić się nieszczelności, które znacząco obniżają wytrzymałość złączy spawanych, a ich małe rozmiary mogą uniemożliwić ich wykrycie. Z punktu widzenia szczelności połączenia oraz jego trwałości eksploatacyjnej jest to cecha niepożądana. W celu wykrycia nieszczelności stosuje się badania nieniszczące szczelności, wśród których można wyróżnić jedną z najbardziej popularnych metod, a mianowicie badania szczelności metodą penetracyjną. Jest to metoda, która bazuje na metodzie penetracyjnej wykrywającej niezgodności powierzchniowe. Po oczyszczeniu złącza nanosi się w pierwszej kolejności wywoławcz od strony lica spoiny, a po odparowaniu cieczy nośnej należy nanieść penetrant na przeciwległą powierzchnię.

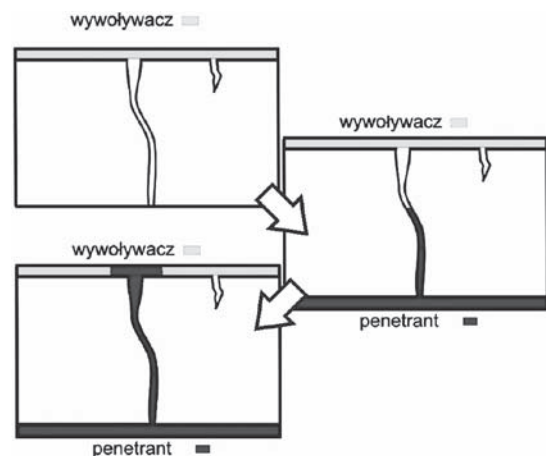
Słowa kluczowe: niezgodność, wada, zapewnienie jakości, badania penetracyjne, badania szczelności

1. Wprowadzenie

W wyniku spawania mogą pojawić się nieszczelności, które znacząco obniżają wytrzymałość złączy spawanych, a ich małe rozmiary mogą uniemożliwić ich wykrycie. Z punktu widzenia szczelności połączenia oraz jego trwałości eksploatacyjnej jest to cecha niepożądana. W celu wykrycia nieszczelności stosuje się badania nieniszczące szczelności, wśród których można wyróżnić jedną z najbardziej popularnych metod, a mianowicie badania szczelności metodą penetracyjną. Jest to metoda, która bazuje na metodzie penetracyjnej wykrywającej niezgodności powierzchniowe. Po oczyszczeniu złącza nanosi się w pierwszej kolejności wywoławcz od strony lica spoiny, a po odparowaniu cieczy nośnej należy nanieść penetrant na przeciwległą powierzchnię (rys. 1).

Metoda ta może ułatwić podejmowanie decyzji o dopuszczeniu badanego wyrobu do wykorzystania lub jego naprawie. Czas wywoływania (czas przejścia penetrantu przez nieszczelność na przeciwległą powierzchnię) w badaniach szczelności metodą penetracyjną jest bardzo zróżnicowany i zależy od rodzaju materiału, grubości złącza, pozycji nanoszenia środka czy też ilości jego aplikacji. W obecnej literaturze naukowo-technicznej brakuje informacji na ten temat, a jedyne informacje to zalecenia normy do badań penetracyjnych PN EN ISO 3452-1, gdzie czas wywoływania ustalono na $10 \div 30$ minut. Praktyka natomiast pokazuje, iż czas wywoływania w badaniach szczelności metodą penetracyjną może się wahać od kilku sekund do nawet kilkudziesięciu godzin. W niniejszym artykule opisano wpływ

podstawowych parametrów na czas wywoływania w badaniach szczelności przy użyciu techniki barwnej. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem stopu aluminium EN AW-5019 (AlMg5), który współcześnie stanowi jeden z podstawowych materiałów stosowanych na konstrukcje spawane o dużej odporności na korozję [1-10].



Rys. 1. Schemat badań szczelności metodą penetracyjną
Fig. 1. Scheme of leak testing by the penetration method

2. Próbkki do badań

W celu wyznaczenia wpływu parametrów na czas wywoływania w badaniach szczelności złączy spawanych z aluminium i jego stopów metodą penetracji barwnej wykorzystano symulację tych nieciągłości (nieszczelności) w postaci szczelin

*Autor korespondencyjny. E-mail: pawel.irek@is.gliwice.pl

między blachami, wykonanymi ze stopu aluminium. Próbkę przeznaczoną do badań miały wymiary 100 x 68 x 6 mm i 100 x 31 x 6 mm. Powierzchnie blach zostały obróbite mechanicznie i poddano je dokładnemu czyszczeniu, polegającemu na usunięciu pozostałości procesu obróbczego oraz odfuszczeniu powierzchni przeznaczonej do badań w myjce ultradźwiękowej, stosując benzynę ekstrakcyjną i zmywacz rozpuszczalnikowy. Po umyciu blach zastosowano ich suszenie strumieniem powietrza pod ciśnieniem o temperaturze ok. 20°C.

3. Przeprowadzone badania i ich wyniki

Badania penetracyjne próbek z zasymulowanymi nieszczelnościami przeprowadzono z zastosowaniem penetracji barwnej, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 3452-1. Próbkę były umieszczane w urządzeniu wykonanym ze stali S960QL pokazanym na rys. 2 pomiędzy stalowym stołem o grubości 30 mm, a podkładką o grubości 10 mm.



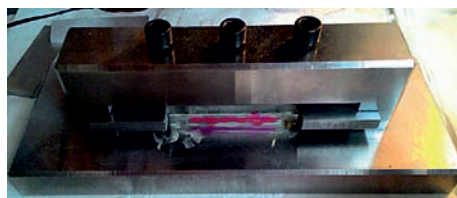
Rys. 2. Przyrząd, na którym były wykonywane badania
Fig. 2. The apparatus on which the tests were carried out

Tab. 1. Schemat badań
Tab. 1. Research scheme

Proces numer	Głębokość szczeliny mm	Pozycja nanoszenia penetrantu	Ilość aplikacji penetrantu
1	31	PA	1
2	31	PA	3
3	31	PC	1
4	31	PC	3
5	31	PE	1
6	31	PE	3
7	68	PA	1
8	68	PA	3
9	68	PC	1
10	68	PC	3
11	68	PE	1
12	68	PE	3

Próbki były dociskane za pomocą śrub widocznych na rysunku numer 2 z momentem siły wynoszącym 10 N·m, dociskając tym samym od góry podkładkę. W celu zapewnienia w miarę możliwości równomiernego docisku zastosowano trzy śruby rozmieszczone w równych odstępach oraz zamocowano je w płycie dociskającej o grubości 40 mm, w celu uniknięcia odkształceń podczas docisku. Szczelina, która się utworzyła pomiędzy dociśniętymi do siebie płytkami miała głębokość odpowiednio 68 i 31 mm. Na tak przygotowaną szczelinę nakładano penetrant w pozycji podolnej, naściennnej oraz sufitowej. Pozostałe konfiguracje badań to jednorazowa aplikacja penetrantu i 3-krotna w odstępach wynoszących 15 minut oraz różne głębokości szczeliny podczas badania. Schemat badań został

przedstawiony w tablicy numer 1. Pozycje nanoszenia penetrantu podano zgodnie z normą PN-EN ISO 6947. Zakładał on 12 procesów, gdzie dla danej głębokości szczeliny były stosowane różne pozycje nanoszenia penetrantu oraz różna ilość aplikacji. Na rysunku numer 3 przedstawiono sposób nanoszenia penetrantu, który był наносzony na szczelinę utworzoną pomiędzy blachami symulującymi nieciągłość. Powierzchnie styku płytek z przyrządem zostały zabezpieczone smarem, aby penetrant nie wnikał w te szczeliny dając tym samym fałszywe wskazania, a jedynie w szczelinę utworzoną pomiędzy płytkami z aluminium.



Rys. 3. Widok przyrządu do badań z płytkami symulującymi szczelinę po naniesieniu penetrantu w pozycji naściennnej
Fig. 3. View of the test device with plates simulating the gap after applying the penetrant in the wall position

Tab. 2. Wyniki badań
Tab. 2. Test results

Proces numer	Głębokość szczeliny, mm	Pozycja nanoszenia penetrantu	Ilość aplikacji penetrantu	Czas po którym pojawiło się wskazanie, godz.
1	31	PA	1	0,05
2	31	PC	1	1,5
3	31	PC	3	0,6
4	31	PE	1	6
5	31	PE	3	1
6	68	PA	1	0,16
7	68	PC	1	9
8	68	PC	3	0,75
9	68	PE	1	18
10	68	PE	3	2

Wyniki badań zestawiono w tablicy numer 2. Każdy proces został powtórzony 3 razy, a wynik to średnia arytmetyczna z trzech prób. Ilość procesów zmniejszyła się z 12 do 10. Wynikło to z faktu, iż przy nanoszeniu penetrantu w pozycji podolnej czas wywoływania był krótszy niż 15 minut, w wyniku czego nie było zasadne nanoszenie kolejnych aplikacji penetrantu, które zgodnie z założeniami były nanoszone w odstępach 15 minut.



Rys. 4. Widok otrzymanego wskazania po jednym z procesów
Fig. 4. View of the received indication after one of the processes

Na rysunku numer 4 pokazano widok otrzymanego wskazania po jednym z procesów. Wskazania nie mogły pojawić się na brzegach płytek, gdyż mogło to świadczyć o nieprawidłowym przebiegu procesu, a mianowicie przejście penetrantu

po bocznej krawędzi płytek, a nie przez płaszczyzny pomiędzy nimi. Prawidłowy przebieg procesu umożliwiał wcześniej wspomniany smar, który nie tylko zabezpieczał czołowe powierzchnie płytek, ale także boczne.

Wśród wyników można zaobserwować, iż czasy wywoływania zależą istotnie od każdego z badanych czynników. W największym stopniu zależą one od pozycji nanoszenia penetrantu, gdzie w pozycji podolnej penetrant najszybciej przechodzi na wskroś przez szczelinę i czas wywoływania wynosi zaledwie kilka do kilkunastu minut. Wynik ten jest zgodny z przypuszczeniami, gdyż w tej pozycji wnikiwanie penetrantu jest wspomagane siłą grawitacji, która ma ten sam kierunek co wnikaący penetrant. W pozycji naściennej czasy wywoływania można już liczyć w godzinach, co świadczy o bardzo dużym wydłużeniu tych czasów i jest spowodowane brakiem dodatniego wpływu siły grawitacji na proces wnikiwania penetrantu. Najdłuższe czasy wywoływania wystąpiły dla pozycji sufitowej, co jest zrozumiałe, gdyż penetrant musi wnikać na zasadzie kapilarności w głąb szczeliny na przekór sile grawitacji. Czasy wywoływania w tej pozycji sięgnęły nawet 18 godzin i były średnio 7,5 razy dłuższe względem czasów w pozycji naściennej. Kolejnym istotnym czynnikiem, który wpływa na czas wywoływania była ilość aplikacji penetrantu. Wśród wyników można zaobserwować, iż wielokrotna aplikacja penetrantu w każdym z badanych przypadków skraca czas wywoływania. Trzykrotna aplikacja penetrantu w odstępach 15 minut względem jednorazowej aplikacji skraca czas wywoływania średnio siedmiokrotnie. Ostatnim z badanych czynników była głębokość szczeliny, przez którą musiał przeniknąć penetrant. Zgodnie z przypuszczeniami czas wywoływania okazał się dłuższy dla większej głębokości szczeliny w każdym z badanych procesów. Użyte głębokości do badań stanowią duże wartości, w związku z czym można przypuszczać, iż czasy wywoływania dla elementów o znacznie mniejszej grubości np. 4 mm będą o wiele krótsze i analogicznie czasy wywoływania dla elementów o znacznie większej grubości np. 100 mm będą znacznie dłuższe. Wyniki uzyskane w badaniach świadczą o minimalnych czasach wywoływania, jakie należy zachować przy badaniach szczelności połączeń wykonanych z aluminium. W praktyce czasy te mogą być znacznie dłuższe, gdyż w badaniach blachy były dokładnie obrobione z powierzchnią chropowatości na poziomie 1 Ra. W rzeczywistości nieszczelności stanowią z reguły pęknięcia, których powierzchnia chropowatości mieści się w zakresie od około 1 do 13 Ra. Czym większa chropowatość powierzchni pęknięcia tym czas wywoływania się wydłuża. Kolejny ważny aspekt to geometria nieszczelności, która w badaniach ma charakter prostopadły względem płaszczyzny, na którą jest nanoszony penetrant, a w badaniach praktycznych niekoniecznie. Przebieg rzeczywistego pęknięcia może być prostopadły, ale może także mieć całkowicie inną trajektorię przebiegu.

4. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania szczelności metodą penetracyjną próbek z powierzchniami symulującymi nieszczelności na wskroś wykazały, że osiągnięto cel podjętej pracy. Wyznaczone zależności umożliwiają oszacowanie minimalnego czasu wywoływania w wyrobach z aluminium i jego stopów w zależności od pozycji nanoszenia penetrantu, jego grubości czy też ilości aplikacji. Informacje z tego zakresu powinny ułatwić podejmowanie

decyzji o długości czasu wywoływania niezbędnego w celu wykrycia nieszczelności. Należy również zauważyć, że w większości przypadków czas wywoływania przekraczał zalecenia normy PN EN ISO 3452-1 wynoszący 10-30 minut, a sięgał nawet 18 godzin. Planuje się kontynuowanie pracy z uwzględnieniem innych materiałów podstawowych wykorzystywanych na konstrukcje spawane.

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

- 1) Analiza wyników wykonanych badań penetracyjnych wykazuje, że maksymalny czas wywoływania wskazań na powierzchniach z aluminium i jego stopów może wynosić nawet kilkanaście godzin;
- 2) Pozycja nanoszenia penetrantu ma największy wpływ na czas wywoływania, gdzie najkrótsze czasy są dla pozycji podolnej, pośrednie dla pozycji naściennej i najdłuższe czasy wywoływania dla pozycji sufitowej;
- 3) Ilość aplikacji penetrantu znacząco wpływała na czas wywoływania i wraz ze wzrostem ilości aplikacji penetrantu czas wywoływania ulegał skróceniu;
- 4) Głębokość szczeliny poddawanej penetracji ma istotne znaczenie na czas wywoływania, gdzie wraz ze wzrostem głębokości szczeliny czas wywoływania się wydłużał;
- 5) Przeprowadzone metodą penetracji barwnej badania pozwoliły na osiągnięcie celu pracy polegającego na uzyskaniu możliwości oszacowania czasu wywoływania w badaniach szczelności wyrobów z aluminium i jego stopów;
- 6) Praca powinna być kontynuowana z wykorzystaniem innych materiałów podstawowych stosowanych na konstrukcje spawane.

5. Literatura/References

- [1] R. Ostrowski, Defektoskopia penetracyjna, Wydawnictwo IMŻ oraz Resortowego Ośrodka Doskonalenia Kadr, Gliwice – Chorzów, 1983.
- [2] J. Czuchryj, S. Sikora, Podstawy badań penetracyjnych wyrobów przemysłowych, Wydawnictwo Instytutu Spawalnictwa, Gliwice, 2007.
- [3] P. Irek, "Czynniki materiałowe w badaniach penetracyjnych", *Przegl. Spaw.*, vol. 88, no. 2, pp. 41-45, 2016. DOI 10.26628/ps.v88i2.570
- [4] P. Irek, Ł. Rawicki, K. Kaczmarek, "Badania penetracyjne techniką barwną złączy spawanych z aluminium i jego stopów", *Biuletyn IS*, vol. 60, no. 3, pp. 32-38, 2016. DOI 10.17729/ebis.2016.3/2
- [5] P. Irek, J. Ślania, "Material factors in relation to development time in liquid-penetrant inspection. Part 1. Material factors", *Arch. of Met. and Mat.*, vol. 61, no. 2, pp. 509-514, 2016. DOI 10.1515/amm-2016-0089
- [6] P. Irek, K. Kaczmarek, Ł. Rawicki, "Badania penetracyjne techniką barwną złączy spawanych z niklu i jego stopów", *Biul. Inst. Spawalnictwa*, vol. 60, no. 4, pp. 64-70, 2016. DOI 10.17729/ebis.2016.4/7
- [7] P. Irek, J. Ślania, "Material factors in relation to development time in liquid-penetrant inspection. Part 2. Investigation programme and preliminary tests", *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 61, no. 3, pp. 1351-1362, 2016. DOI 10.1515/amm-2016-0276
- [8] J. Czuchryj, P. Irek, "Evaluation of Pore Sizes in Welded Joints Made in Various Constructional Materials on the Basis of Penetrant Testing by Colour Method", *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 62, no. 1, pp. 19-25, 2017. DOI 10.1515/amm-2017-0003
- [9] P. Irek, J. Ślania, "Material Factors in Relation to Development Time in Liquid-Penetrant Inspection. Part 3. Testing of Model Plates", *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 62, no. 1, pp. 41-49, 2017. DOI 10.1515/amm-2017-0006
- [10] P. Irek, Ł. Rawicki, K. Kaczmarek, L. Grolik, "Badania penetracyjne techniką barwną złączy spawanych ze stali konstrukcyjnej", *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*, vol. 61, no. 3, pp. 42-47 w papier, 2017. DOI 10.17729/ebis.2017.3/4



teleskop.com.pl



montel.info.pl



teleyard.com.pl



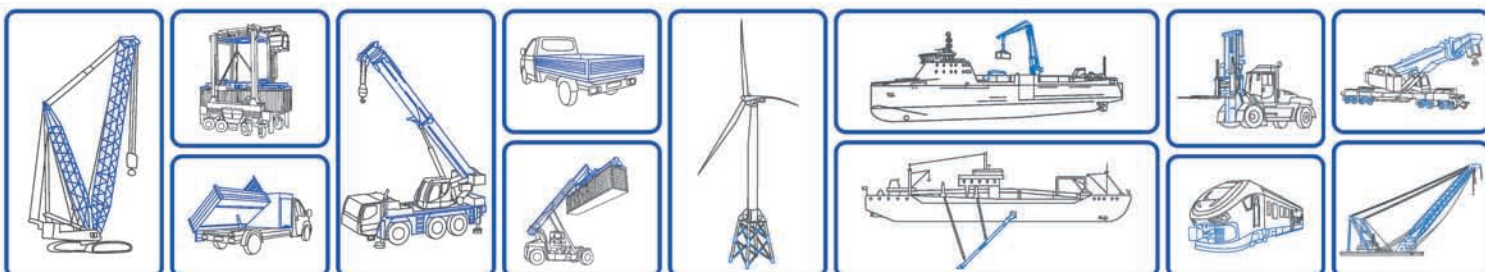
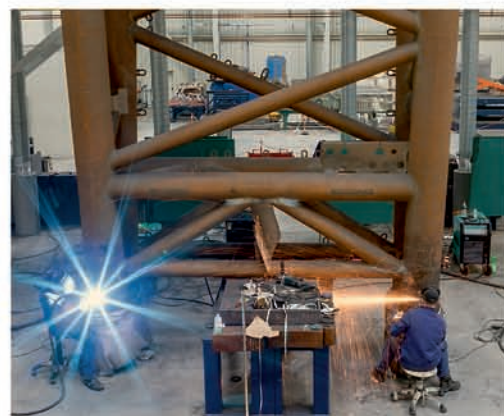
henschel-automotive.com.pl

W skład Holdingu Telemond wchodzi cztery Spółki: Teleskop, Montel, Teleyard i Henschel Engineering Automotive. Jesteśmy specjalistami w zakresie przetwarzania wysokowytrzymałych drobnoziarnistych stali konstrukcyjnych. W naszych zakładach realizujemy usługi między innymi w zakresie realizacji wszystkich powszechnie stosowanych procedur spawalniczych, cięcia blach i rur, obróbki mechanicznej, lakierowania i montażu. Wykonujemy konstrukcje stalowe, zarówno jako pojedyncze elementy jak i złożone moduły dla najważniejszych producentów z branży motoryzacyjnej i maszyn budowlanych. Od wielu lat darzą nas zaufaniem tacy klienci jak np. Liebherr oraz Volkswagen. W zakresie realizacji projektów oferujemy pełen zakres usług. Zajmujemy się zakupem, wykonaniem, a także logistyką, montażem i zapewnieniem jakości.



Spółka Holdingu Firma Teleskop jest największym pracodawcą w Kostrzynie nad Odrą zatrudniając ponad 600 pracowników. W naszych osiemnastu halach produkcyjno-montażowych wytwarzamy od podstaw sprzęt transportowy, konstrukcje spawane ze stali o wysokiej wytrzymałości dla czołowych producentów dźwigów oraz podzespoły dla producentów z sektora kolejowego. Specjalizujemy się również w produkcji wysięgników teleskopowych, chwytaków kontenerowych i podzespołów urządzeń dźwigowych.

Najmłodszą ze spółek córek Holdingu jest Firma Teleyard, która produkuje konstrukcje spawane wykonane ze stali o wysokiej wytrzymałości i odporności na ścieranie, kierując swoją ofertą przede wszystkim w stronę sektora offshore systemów kontenerowych. Teleyard wykonuje także specjalne projekty w zakresie produkcji o dużych wymiarach i ciężarze. Spółka wybudowała w 2015 roku fabrykę w Szczecinie, która specjalizuje się w wielkogabarytowych konstrukcjach stalowych. Powstają w niej między innymi części dźwigów, chwytaków, specjalistyczne wyposażenie pogłębiarek.



Łukasz Rawicki^{1*}, Piotr Machała², Patryk Uchroński², Jacek Słania¹, Karol Kaczmarek¹

¹Instytut Spawalnictwa, Zakład Badań Nieniszczących, Gliwice

²ZBM Ultra Sp. z o.o., Wrocław

Badania automatyczne i systemy badawcze wykorzystywane w badaniach ultradźwiękowych osi kolejowych

Automatic research and testing systems used in ultrasound research of the railway axles

ABSTRACT

The possibilities of using automated testing systems for research of the railway axes have been described. Elements of repetitive shape can be tested using automatic systems. It gives benefits in the form of time and speed of conducted research. Additional advantages are the possibility of archiving and recording parameters from the conducted tests in the form of diagrams from computer programs.

Keywords: *ultrasound research, railway axles, automated research systems*

STRESZCZENIE

Opisano możliwości zastosowania automatycznych systemów badawczych na potrzeby badania osi kolejowych. Elementy o powtarzalnym kształcie są możliwe do badania przy wykorzystaniu systemów automatycznych. Daje to korzyści w postaci czasu oraz szybkości przeprowadzanych badań. Dodatkowymi atutami są możliwości archiwizacji oraz zapisu parametrów z przeprowadzonych badań w postaci diagramów z programów komputerowych.

Słowa kluczowe: *badania ultradźwiękowe, osie kolejowe, systemy badań automatycznych*

1. Wprowadzenie

Badania osi kolejowych przeprowadzane są za pomocą metod VT, MT i UT [1]. Podczas procesu produkcyjnego wady powierzchniowe osi kolejowej widoczne są gołym okiem, a do wykrycia wad wewnętrznych wykorzystywane są badania ultradźwiękowe. Badania prowadzone są najczęściej klasyczną techniką echa, a fale rozchodzą się w płaszczyźnie osiowego przekroju osi. Na wykrywalność pęknięć w osiach kolejowych wpływ mają m.in. czynniki związane z kształtem geometrycznym badanej osi oraz występowaniem ech pozornych. Echa powstają po wnikięciu fali do kół i fal odbitych od promienia przejścia piasta-koło i tarcza-koło [2].

Osie kolejowe są projektowane jako wyroby przeznaczone do pracy wysokocyklowej bez limitu przebiegu i czasu eksploatacji. Wykorzystywane są zatem do momentu, w którym kontrola wykaże niezdolność wyrobu do dalszego bezpiecznego spełniania swojej funkcji [3]. Obszarami narażonymi na uszkodzenia są miejsca przejść między obszarami średnic osi kolejowej [4].

Zwiększenie efektywności badań możliwe jest poprzez pełną lub częściową automatyzację wykonywanych badań co czyni technikę badań ultradźwiękowych jedną z najbardziej rozwiniętych metod badań nieniszczących [5]. Stosowanie urządzeń cyfrowych stanowi bazę do rozwijania technik badań ultradźwiękowych. Nowoczesny sprzęt projektowany jest z myślą o rejestracji całego przebiegu badania. Możliwa jest statystyka przeprowadzonych badań i ich wyników czego wynikiem jest m.in. oszacowanie prędkości propagacji

nieciągłości prowadzącej do awarii.

Celem wykonywanych badań jest wykrycie poprzecznych pęknięć zmęczeniowych. Tworzą się one najczęściej w pobliżu zmian średnic osi (czyli w obszarach koncentracji naprężeń).

Osie projektowane są z dużym zapasem obciążenia, mimo to pękają, co pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Widok przełomu pęknięcia zmęczeniowego osi kolejowej.
Fig. 1. View of the breakthrough of fatigue crack of railway axle.

Awarii zapobiec można, odpowiednio wcześniej wykrywając pęknięcie. W tym celu można zwiększyć częstotliwość badań, wykonując je w czasie przeglądów od części czołowej czopa bez demontażu osi. W Polsce nie istnieje obowiązująca norma dotycząca ultradźwiękowych badań eksploatacyjnych osi. Jedyne, co nakazuje norma PN- EN 15313, to wykonywanie badań zgodnie z „planem badań” [6].

*Autor korespondencyjny. E-mail: lukasz.rawicki@is.gliwice.pl

Brak jednoznacznych wymogów technicznych przy wykonywaniu badań ultradźwiękowych i stosowanie różnych instrukcji i procedur badawczych wpływa na zachowanie warunków bezpieczeństwa podczas eksploatacji pojazdów szynowych. Zgodnie z obowiązującymi przepisami badania w czasie eksploatacji wykonywane są głównie zgodnie z normami branżowymi (seria BN), natomiast badania w czasie remontów, głównie dla odbiorców zagranicznych, wykonywane są zgodnie z niemiecką normą DIN 27201-7 (m.in. przewodnik VPI) [7-8].

Porównanie norm branżowych z wymaganiami obowiązującymi u odbiorców zagranicznych pokazano w tablicy 1.

Tab. 1. Porównanie badań wg BN i VPI.

Tab. 1. Comparison of research according to BN and VPI.

Lp.	Parametr	Normy branżowe BN	DIN 27201-7
1	Stopień demontażu osi	Oś niezdemontowana (może być pod wagonem)	Zamontowane tylko koła
2	Miejsce przyłożenia głowic	Strona czołowa czopa	Powierzchnia boczna czopa i części środkowej
3	Zakres badań	Okolice zmian średnic	100%
4	Głębokość nacięć	Od 1 do 8 mm	2 mm
5	Aparatura	Głowica normalna z nakładkami z plexi	Głowice o odpowiednim kącie i solidnej obudowie
6	Możliwość wykonania badań	Praktycznie w każdych warunkach	Jedynie podczas napraw

Badania zgodnie z niemieckimi wytycznymi zapewniają dużo wyższy poziom bezpieczeństwa niż normy branżowe. Ich wykonanie jest możliwe jedynie podczas remontów. Rozwój aparatury ultradźwiękowej powinien dążyć do umożliwienia badań na poziomie VPI w warunkach BN. Przykładami urządzeń do badań automatycznych mogą być systemy stworzone przez firmę ZBM Ultra Wrocław i defektoskop CUD BO WIFI.

System zapewnia:

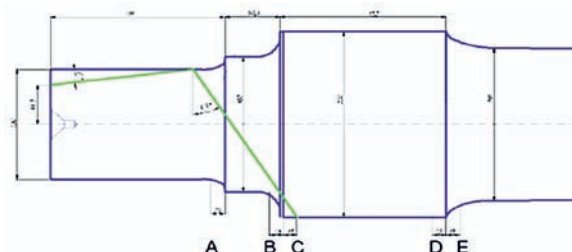
- przyspieszenie i zmniejszenie kosztów badań w wyniku automatyzacji wszystkich czynności niebędących samym badaniem;
- uwiarygodnienie badań poprzez jak największe niezależenie wyniku badania od subiektywnej oceny operatora;
- zapis całego przebiegu badania, a następnie zawarcie tych informacji w generowanym przez system protokole badań;
- kompatybilność zapisów wyników badań z istniejącymi bazami danych zestawów kołowych klienta;
- możliwość wykonania badania nie tylko na stanowisku badawczym, ale również w dowolnych innych warunkach;
- stopień złożoności badań nieprzekraczający zakresu certyfikatu 1 i 2 stopnia wg normy PN EN ISO 9712;
- możliwość badań niezdemontowanych, częściowo zdemontowanych i całkowicie zdemontowanych osi;
- możliwość rozbudowy systemu w dowolnym

momencie.

Możliwości badania osi od czoła obejmują:

- badania bezpośrednie,
- badania głowicą nakiełkową,
- badania z wykorzystaniem fal transformowanych.

Bardzo istotne jest badanie obszarów o zmiennych przekrojach. Sposób padania wiązki ultradźwiękowej i transformacja fali pokazany jest zieloną linią na rysunku 2.



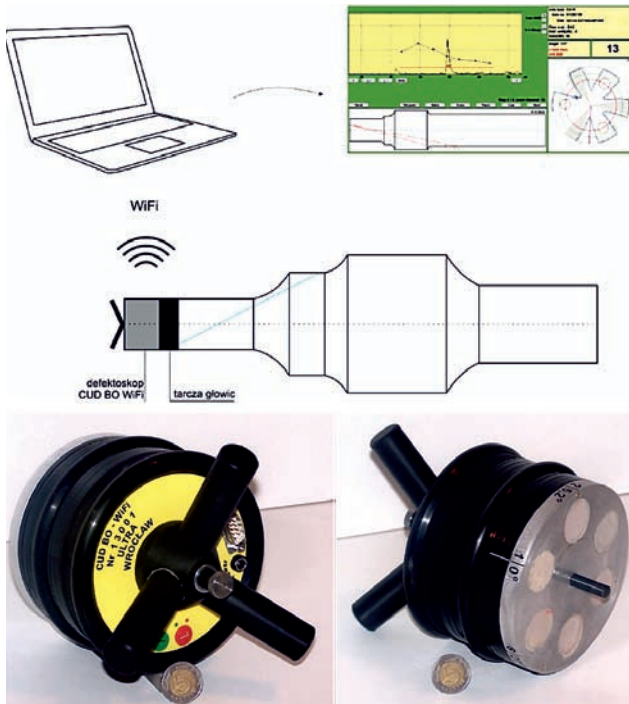
Rys. 2. Padanie wiązki ultradźwiękowej od powierzchni czołowej osi kolejowej [9]

Fig. 2. Incidence of ultrasound beam from the front surface of railway axles [9]

2. Badanie osi pełnych

Badanie osi pełnych jest zadaniem czasochłonnym i wymagającym. Badanie całej osi może trwać czasami kilka godzin, a biorąc pod uwagę wymagania norm i specyfikacji uwzględniających różne miejsca przyłożenia głowic, jest to zajęcie żmudne i czasochłonne. Rozwiązaniem przy tego typu badaniach jest badanie półautomatyczne. Jest to badanie tańsze od badania w pełni automatycznego, a jednocześnie dużo szybsze od badania wykonywanego w sposób ręczny. W przypadku badania automatycznego do ustawienia na obrotniku osi przystawiany jest układ głowic wykonujących badanie. Operator wykonujący badanie odpowiada za weryfikację i interpretację przeprowadzonych badań. Skomplikowany układ mechaniczny w tego typu urządzeniach sprawia, że koszty urządzenia są bardzo wysokie dla większości przedsiębiorstw. W badaniu półautomatycznym możliwość sterowania i przełączania kanałów istnieje dzięki zmianom ustawień defektoskopu oraz programu komputerowego dokonującego rejestracji danych podczas badania. Dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu możliwy jest dobór głowic do procedur badawczych wgranych na urządzeniu rejestrującym [3]. System badawczy zbudowany jest z bezprzewodowego defektoskopu ultradźwiękowego CUD BO WIFI, tarczy głowic ultradźwiękowych, sterującego oraz archiwizującego programu komputerowego. Wykonanie badania wiąże się z posiadaniem osi danego typu, na którym wykonywane będzie badanie ultradźwiękowe w celu przeprowadzenia ustawień sprzętu pomiarowego. Schemat systemu oraz elementy układu do badania osi pełnych pokazano na rysunku 3.

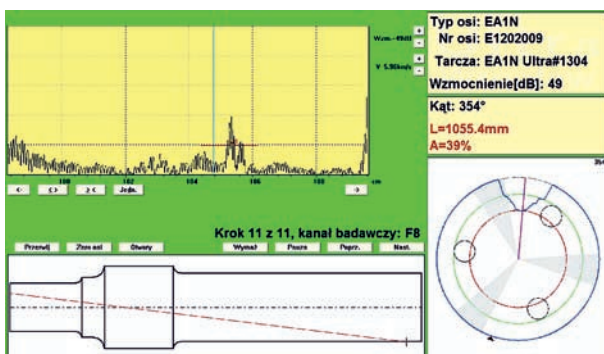
Osie kolejowe różnią się od siebie w zależności od wymiarów geometrycznych. Dlatego też, aby badanie było możliwe, a jego wyniki wiarygodne, dla każdego typu osi należy opracować i wykonać osobną tarczę głowic. Widok urządzenia do badania w pozycji roboczej pokazano na rysunku 4.



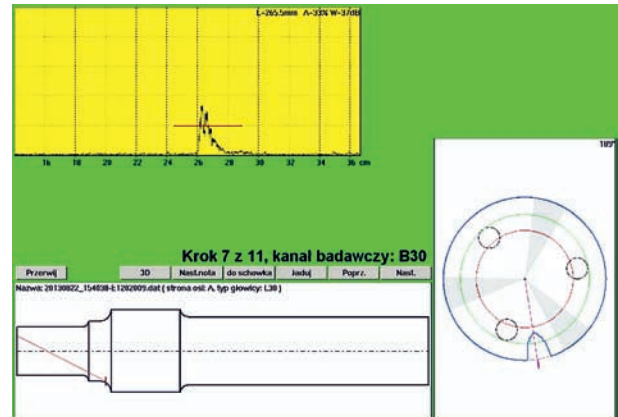
Rys. 3. Schemat systemu i elementy układu do badania osi pełnych [9]
Fig. 3. System scheme and system elements for full axes testing [9]



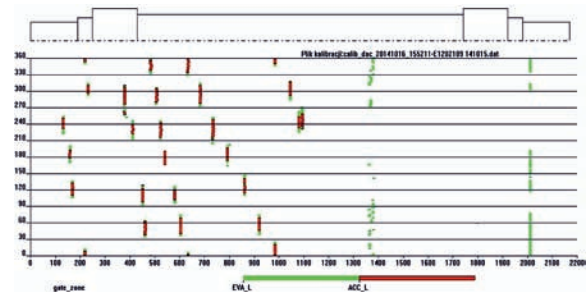
Rys. 4. Widok defektoskopu w położeniu roboczym [9]
Fig. 4. View of the defectoscope in the working position [9]



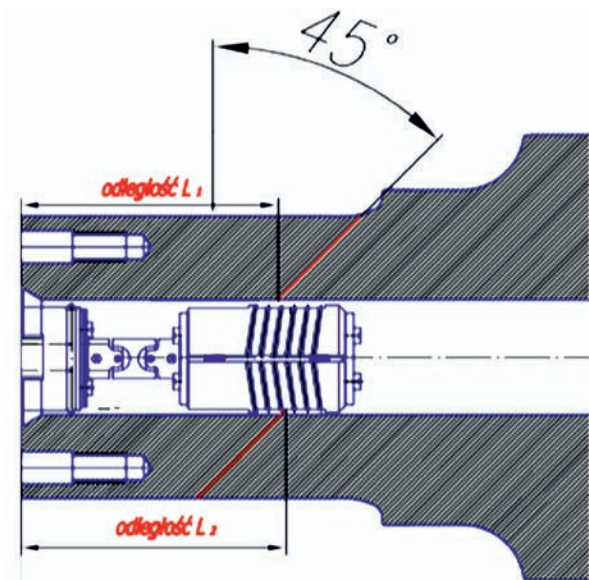
Rys. 5. Lewa górna część przedstawia ekran defektoskopu z aktualnym wskazaniem, prawa strona reprezentuje zarejestrowane amplitudy obwodu osi, dolna w strefie na długości osi [9]
Fig. 5. The upper left part shows the defectoscope display with the current indication, the right side represents the recorded amplitudes of the axle circuit, the lower one in the zone along the axis length [9]



Rys. 6. Zapisany jest cały przebieg badania - dla każdego kroku zapisywany jest defektogram co 1° [9]
Fig. 6. Record of the whole test - for the each step the defectogram is recorded ever 10 [9]



Rys. 7. Prezentacja wyników zbiorczych po wykonaniu badania [9]
Fig. 7. Presentation of the results after the test [9]



Rys. 8. Schemat badania osi drążonej [10]
Fig. 8. Examination scheme of the hollow axis [10].

Zapis wyników badania oraz końcowy zapis zbiorczy parametrów po przeprowadzonym badaniu pokazano na rysunkach 5, 6 i 7.

3. Badanie osi drążonych

Osie drążone bada się od strony otworu drążonego za pomocą głowicy 45° (70°) w poszukiwaniu pęknięć

poprzecznych, co pokazano na rysunku 8.

Badanie osi drążonych to badanie wielu powtarzalnych elementów, istnieje więc możliwość opracowania systemów automatycznych [11]. Podczas badania występują liczne wskazania od kształtu osi. Nie należy więc prowadzić badań ręcznych, ponieważ nie gwarantują one dokładnego pomiaru odległości, na której prowadzone jest badanie.

4. Przebieg badania

Personel wykonujący badanie winien posiadać uprawnienia minimum 2 stopnia w metodzie badań ultradźwiękowych UT w sektorze Utrzymanie ruchu kolei zgodnie z normą PN EN ISO 9712.

Wykorzystana aparatura badawcza do badania osi drążonych pokazana na rysunku 9 zawiera m.in. bezprzewodowy defektoskop ultradźwiękowy łączący się przez sieć WIFI z komputerem typu laptop do rejestracji i zapisów badania, część konstrukcyjna urządzenia ze śrubą posuwową, na końcu której zamontowana jest sonda badawcza. Zestaw do badania zawiera również urządzenie do podawania oleju w celu zapewnienia sprzężenia akustycznego głowicy w trakcie badania [4]



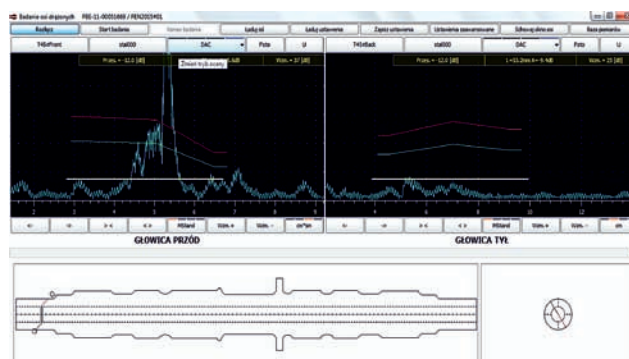
Rys. 9. Widok aparatury badawczej wraz z widokiem montażu urządzenia do dopływu oleju [10]

Fig. 9. View of the research equipment with a view of the device installation to the oil supply [10]

Przy badaniach ultradźwiękowych osi kolejowych czynnikami, które mają duże znaczenie podczas wykonywania badania są m.in. układ badania, na który wpływ ma miejsce i kąt przyłożenia głowic oraz weryfikacja wyników badania na wzorcu porównawczym. Każdy typ osi różni się względem siebie kształtem geometrycznym, więc wzorec musi być dopasowany właściwie do przeprowadzonego badania z uwzględnieniem danej procedury i normy. Wzorec powinien być zawsze dostępny dla operatora. Kalibracja sprzętu pomiarowego polega na wykreśleniu krzywej DAC na wzorcu pomiarowym. W tym celu układ z sondą badawczą wprowadza się do badanej osi i w posuwistym ruchu sondy wyszukuje się kolejnych nacięć znajdujących się na wzorcu kontrolno-pomiarowym osi. Nacięcia będące wadami sztucznymi służą do wyznaczenia krzywej DAC. Tworzenie krzywej DAC polega na znalezieniu ech maksymalnych, które pochodzą od kolejnych nacięć znajdujących się na wzorcu kontrolno-pomiarowym. Linia poprowadzona

przez poszczególne punkty ech maksymalnych wyznacza krzywą DAC.

Wykreśloną krzywą należy obniżyć o 12dB w celu zaostrezenia kryterium badania. Widok krzywych DAC pokazano na rysunku 10.



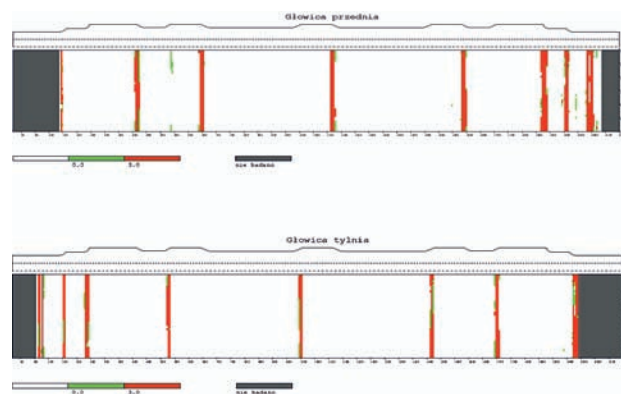
Rys. 10. Widok krzywych DAC podczas badania osi napędowej dla głowicy przedniej i tylnej [10]

Fig. 10. View of the DAC curves during testing of the drive axle for the front and rear head [10]

Badanie przeprowadzane jest na całej długości osi, a nieciągłości zostają rejestrowane automatycznie przez program.

Końcowe wyniki badania przedstawiają zapis badania, co pokazano na rysunku 11 niezależnie dla głowicy przedniej i tylnej, jak również identyfikację przejść na osi tocznej. Zadaniem operatora jest ocena wskazań na osiach badanych i weryfikacja wyników badania.

Operator powinien określić i ocenić wskazania istotne, a pominąć wskazania, które mogą być wynikiem m.in. echa kształtu [11].



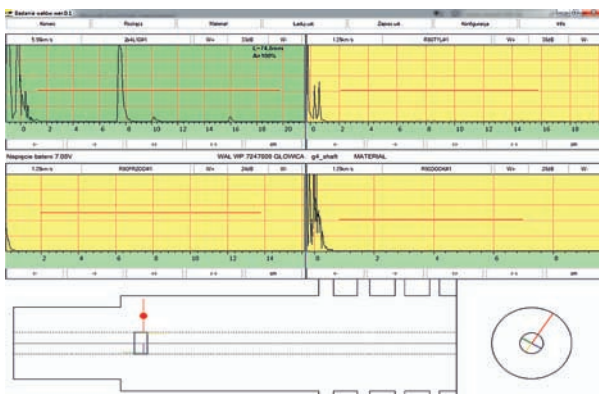
Rys. 11. Końcowe wyniki badań z głowicy przedniej i tylnej dla osi tocznej [10]

Fig. 11. The final research results from the front and rear head for the axis fought [10]

Badanie osi drążonych prowadzi się również od wewnętrznej części otworu drążonego. Systemy tego typu wykorzystują fale powierzchniowe. Nieciągłościami wzorcowymi na osiach wzorcowych są nacięcia wzdłużne i poprzeczne. Wykorzystywany jest ten sam układ mechaniczny co do badania osi drążonych. Rejestracja sygnału odbywa się z czterech kanałów równocześnie. Na rysunku 12 pokazano sondę badawczą z głowicami na fale powierzchniowe, a na rysunku 13 widok diagramu po badaniu powierzchni wewnętrznej osi drążonej.



Rys. 12. Sonda badawcza z głowicami na fale powierzchniowe [10]
Fig. 12. Research probe with heads for surface waves [10]



Rys. 13. Badanie powierzchni wewnętrznej osi drążonej-program komputerowy [10]
Fig. 13. Internal surface examination of the hollow axis – computer program [10]

5. Podsumowanie

W przedstawionym opracowaniu pokazano sposób przeprowadzania badań na osiach kolejowych. Sposób badania jest badaniem automatycznym umożliwiającym m.in. kontrolę i rejestrację przez program komputerowy wyników badania.

Na elementach powtarzalnych możliwe jest wykonywanie badań w sposób powtarzalny w związku z czym celowe staje się zastosowanie systemów automatycznych. Operator posiadający stosowne uprawnienia w sektorze Utrzymanie Ruchu Kolei odpowiada za ocenę i interpretację wyników badania [12].

6. Literatura/References

- [1] W. Michnowski, J. Mierzwa, P. Machała, P. Uchroński, "Badanie kolejowych zestawów kołowych", in Czech Society for Nondestructive Testing, NDE for Safety / DEFEKTOSKOPIE 2011, Ostrava, pp. 223-229.
- [2] B. Ładecki, "Problemy związane z wykrywaniem pęknięć zmęczeniowych osi kolejowych", Przegląd Spawalnictwa, vol. 86, no. 11, pp. 28-34, 2014. DOI 10.26628/ps.v86i11.28
- [3] Ł. Antolik, "Metodyka wykrywania pęknięć zmęczeniowych w osiach kolejowych a wymagania norm europejskich", Problemy Kolejnictwa, zeszyt 165, no. 12, pp. 7-19, 2014.
- [4] I. Miklaszewicz, "Badanie nieniszczące i ich odpowiedzialność a bezpieczeństwo transportu szynowego – badania ultradźwiękowe elementów kolejowych", Instytut Kolejnictwa, Warszawa, Prezentacja, Apr. 2014.
- [5] Ł. Antolik, "Kierunki rozwoju badań ultradźwiękowych na przykładzie badania osi kolejowych", Problemy Kolejnictwa, zeszyt 163, pp. 7-24, 2014.
- [6] PN-EN 15313, "Kolejnictwo. Wymagania eksploatacyjne dotyczące obsługi zestawów kołowych. Utrzymanie zestawów kołowych pojazdów w eksploatacji i wyłączonych z eksploatacji."
- [7] DIN 27201-7, "Stan pojazdów kolejowych – Podstawowe zasady i technologie produkcji – Część 7: Badanie nieniszczące".
- [8] VPI 09, "Konservacja wagonów towarowych. Badania nieniszczące".
- [9] "Ultra - P. Machała, P. Uchroński", Ultra.wroclaw.pl, 2018. [Online]. Available: <http://www.ultra.wroclaw.pl/>. [Accessed: 1- Mar- 2018].
- [10] Ł. Rawicki, "Rozwój i zastosowanie współczesnych metod badań nieniszczących w spawalnictwie", Materiały Seminaryjne, Instytut Spawalnictwa, Gliwice, 2017.
- [11] W. Michnowski, J. Mierzwa, P. Machała, P. Uchroński, "Badanie kolejowych osi drążonych", Przegląd Spawalnictwa, vol. 83, no. 13, pp. 33-35, 2011. DOI 10.26628/ps.v83i13.423
- [12] W. Michnowski, J. Mierzwa, P. Machała, P. Uchroński, "Bezpieczeństwo eksploatacji osi kolejowych i badania ultradźwiękowe", Przegląd Spawalnictwa, vol. 86, no. 10, pp. 17-20, 2014. DOI 10.26628/ps.v86i10.41

Badania Nieniszczące i Diagnostyka Nondestructive Testing and Diagnostics

LISTA RECENZENTÓW W ROKU 2018

- 1) dr hab. inż. Maciej Roskosz, prof. nadzw. AGH w Krakowie
- 2) prof. dr hab. inż. Piotr Bielawski, AM w Szczecinie
- 3) dr hab. inż. Jacek Szelązek, prof. nadzw. PAN
- 4) mgr inż. Jędrzej Hlebowicz, Pro Novum Sp. z o.o.
- 5) prof. dr inż. Ryszard Sikora, emerytowany prof. ZUT w Szczecinie
- 6) dr hab. inż. Jarosław Chmiel, prof. nadzw. AM w Szczecinie
- 7) dr hab. inż. Bernard Wichtowski, emerytowany pracownik ZUT w Szczecinie
- 8) dr hab. inż. Jacek Ślania, prof. nadzw. IS w Gliwicach
- 9) dr inż. Grzegorz Jezierski, Politechnika Opolska
- 10) dr inż. Michał Kawiak, ZUT w Szczecinie
- 11) dr inż. Adam Sajek, ZUT w Szczecinie
- 12) mgr inż. Marek Lipnicki, Koli Sp. z o.o.
- 13) prof. dr hab. inż. Tomasz Węgrzyn, PŚI w Gliwicach
- 14) dr hab. inż. Jaromir Mysłowski, ZUT w Szczecinie
- 15) dr inż. Grzegorz Jezierski, Politechnika Opolska

Olexiy Balitskii^{1*}, Waleriy Kolesnikow², Anatoliy Owsyannikow³, Sergiy Lizunow⁴, Jacek Elias⁵¹Ivan Franko Lviv National University, Lviv, Ukraine²Karpenko Physicomechanical Institute, Ukrainian National Academy of Science, Lviv, Ukraine³JSC "Pluton", Lviv, Ukraine⁴Lviv Design Bureau of Ministry of Fuel and Energetic of Ukraine, Lviv, Ukraine⁵West Pomeranian University of Technology, Szczecin, Poland

Data science approaches to diagnostics of metal stress-strain state using semiconductor sensor suitable for system design

Przydatne dla zbioru danych naukowych i projektowania systemowego diagnozowanie stanu naprężenia - odkształcenia w metalach za pomocą sensorów półprzewodnikowych

ABSTRACT

Article describes the data science approaches to diagnostics of metal stress-strain state using semiconductor sensor suitable for system design. It has been described the elongation curves (on permanent loading 370-450 MPa) in time of St3 (kp, sp) specimens in initial state, after treatment in He and H₂ with pressure 35 MPa and temperature 623 K during 10 hours as well as a curves of the average signal of semiconductor sensors that controls this process and spectral sensitivity of the semiconductor sensors of the visible range depending on the time of the exposure of the samples.

Keywords: diagnostics, stress - strain state, semiconductor sensor, data science, system design

STRESZCZENIE

W artykule pokazano możliwość diagnozowania stanu naprężenia-odkształcenia w metalach za pomocą sensorów półprzewodnikowych, przydatne dla zbioru danych naukowych i projektowania systemowego. Przedstawiono krzywe wydłużenia (przy stałym naprężeniu 370-450 MPa) w czasie próbek ze stali St3 (kp, sp) w stanie wejściowym, po obrobie w He i w H₂ z ciśnieniem 35 MPa przy temperaturze 623 K w ciągu 10 godz., a także krzywe średniego sygnału sensora półprzewodnikowego, który obserwuje ten proces i czujność spektralna sensorów półprzewodnikowych diapazonu widocznego w zależności od czasu ekspozycji próbek.

Słowa kluczowe: diagnostyka, stan naprężenia-odkształcenia, sensor półprzewodnikowy, zbiór danych naukowych, projektowanie systemowe

1. Introduction

Among the well known physical registration methods of the stress-strain state of the metal in aggressive environment (for example – in hydrogen) it can be consider the method, in which used semiconductor sensors [1-3], partially – a procedure of energy release during strain and fracture [3] (is one of the wide used methods of modern investigations). Using the calorimetric infra red (IR) tests it can be directly determine the energy of formation and study the kinetics of structural defects relaxations [3]. Among the frequency ranges used in different methods of non-destructive testing [4 - 7] are UV+HUV→V→IR. A lot of sensors in visible range (V) permit more deep investigation of the physical nature of the phenomenon. Life time prediction of technological equipments large parts based on the theory of solid state physics is not sufficient due to lack of communication between quality (crystal lattice etc.) and quantity (structure of the phase-part geometry) description of the process of degradation of the metal under the influence of external forces and aggressive environments (including

hydrogen). Determining the degree of degradation is possible by controlling the size of the internal energy of the metal. Measurements of the integral value of the internal energy of the metal causes a number of technical difficulties.

The proposed approach to the definition of life time large parts during the operation of the existing equipment and techniques details practically possible. Given the high level of stored energy in the metal, it can be assumed that the changes at this level under the influence of external forces and environments should cause a disturbance.

2. Experimental procedure and materials

To detect the changes of metal stress-strain state during the deformation were used microsamples with working part 5x2x1 mm of St-3 (kp or sp) material (C – 0,14-0,22%, Si – 0,05-0,17%, Mn – 0,4-0,65%, Ni, Cu, Cr – up to 0,3%, As up to 0,08%, P, S up to 0,05 and 0,04% wt.%, Fe – balance) (analogue of this materials in different country has presented in Table 1), which is subjected to a uniaxial tension (420 MPa) (with an acceptable 370-450 MPa). This materials is wide used for produced of hydrogen tanks and demonstrated degradation after long term service [4].

*Correspondence author. E-mail: olexiybal@yahoo.com

Control of the extension of the sample was carried out with an accuracy of 0.01 mm. The intervals between measurements were 1 second. For registration of stretching process has used the semiconductor "p-n" structure responsive to energy in the range of 9 to 10 degrees up to 12 Hz. Spectra sensitivity of a semiconductor sensors of visible range (with maximum of spectra characteristics 610-580, 600-480 nm with corresponding limit of red sensitivity, maximum quantum issue 25...30 %, maximum sensitivity 300 mK/Lm and density of current emission 10-15 A/cm²) [2]. The resulting signal was taken as the voltage having the amplitude-frequency dependence ($10^9 \dots 10^{12}$ Hz) of the metal deformation in the process of stretching. Semiconductor sensor has received the different spectral sensitivity, shielding from electromagnetic effects, including visible light (at a distance of 50-100 mm from the sample).

Tab. 1. The steel St-3 and its analogue in different country
Tab. 1. Stal St-3 i jej analogi w różnych krajach

Ukraine	St-3kp (specimen serie 1)	St-3sp (specimen serie 2)
AISI, ASTM, ASME (USA)	USt 37-2, USt 37-2 G, RSt37-2	A414 Grade A, A570 Grade 36
EU	Fe37-3FN, Fe37-3FU, Fe37B1FN, Fe37B1FU, Fe37B3FN, Fe37B3FU, S235, S235J0, S235J2G3, S235JR, S235JRG2	-
PN (Polska)	St3S, St3SX, St3V, St3W	-
DIN (Germany)	USt 37-2, USt 37-2 G, RSt37-2	S235JG3/Fe360 D1, St 37-3, UZSt 37-2
JIS (Japan)	-	SS 34
GB (China)	A3, Q23A, Q23A-F, Q235A-F, Q235A-Z, Q23A-b	-
B.S. (Great Britain)	-	HS 37/23, S 235J2G3, 40C, BS4360
UNI (Italy)	-	S235J2G3

3. Results and discussions

It is well known that system design is an interdisciplinary direction and methodology for constructing intellectual environments designed to solve scientific and practical tasks of

optimizing the life cycle of complex systems of various nature using resource-intensive computer technologies and expert analysis [8-10]. From this point of view General Electric Co now has developed a concept how artificial intelligence can be used in power networks and energy production. This technology will save the costs thanks to increasing energy efficiency. The technology that GE now operates will be able to optimize the flow of current in storage devices such as batteries and power consumption points. This will significantly improve the efficiency of the energy system. Digitization concerns both power stations long term exploitation and life time extantion [8-10]. On the other hand exist an algorithm for Ground plane estimation from spare LIDAR data for loader crane sensor fusion system [8]. In this paper it has ben proposed algorithm allows for accurate filtration of ground points from the cloud of points in real time [8].

The semiconductor structure responds to the energy processes occurring in the metal. The coefficient of energy conversion in the semiconductor by the above processes requires further investigation [2]. Given the spectral selectivity of the semiconductor and the wavelength emitted from the metal in the excited state, it can be assumed that in the zone of plastic deformation and cracking possible registers with the release of energy in the visible, UV, IR ranges. Deformation causes the moving dislocations, defects, and phase change has reflected in the various part of the spectrum [1]. Deformed state of metal can be described by the amplitude-frequency characteristics (AFC) depending on the chemical composition of the material and the amount of strain accumulated during operation. Dynamics of changes in the frequency response allows to predict the residual life and highlight the pre-emergency status of the items.

It has been presented the elongation curves (on permanent loading 370-450 MPa) in time of St3 (kp, sp) specimens in initial state, after treatment in He and H₂ with pressure 35 MPa and temperature 623 K during 10 hours as well as a curves of the average signal of semiconductor sensors that controls this process and spectral sensitivity of the semiconductor sensors of the visible range depending on the time of the exposure of the samples (Fig. 1-6), which demonstrated the differet effect of the environment (increasing from low to high aggressivity) s on the characters of average signals after accurate filtration.

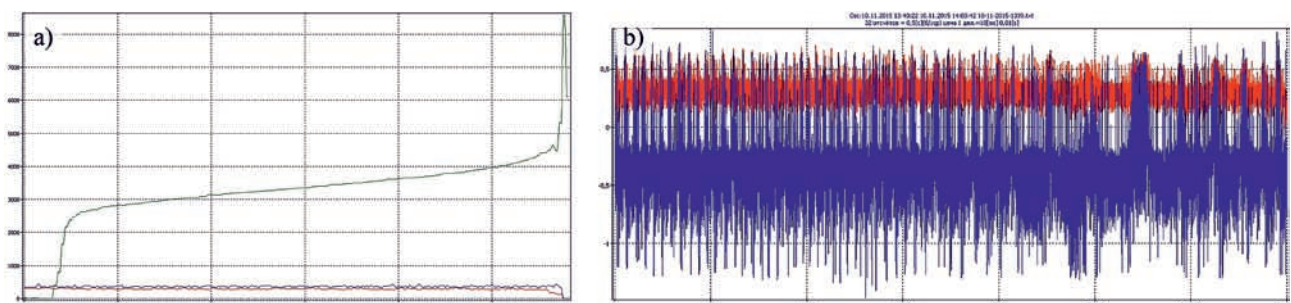


Fig. 1. Elongation curves (on permanent loading 370-450 MPa) in time (on vertical axis – Δl with step 0,01 mm, on horizontal axis – time in sec) of St3 kp specimen 15x2x1 mm in initial state. Lower curve – the average signal of semiconductor sensors that controls this process (a) and spectral sensitivity of the semiconductor sensors of the visible range (610-580 (upper curve) i 600-480 (lower curve) nm) depending on the time of the exposure of the samples in the initial state under the load, realized on the sample of the series1 in the air (b).

Rys. 1. Krzywe wydłużenia (przy stałym naprężeniu 370-450 MPa) w czasie (w prostokątnym kierunku – Δl z krokiem 0,01 mm, w poziomym – czas, sek.) próbek ze stali St3 kp 15x2x1 mm w stanie wyjściowym. Dolna krzywa – średni sygnał sensora półprzewodnikowego, który obserwuje ten proces (a) i czułość spektralna sensorów półprzewodnikowych diapazonu widocznego (610-580 (gorna krzywa) i 600-480 (dolna krzywa) nm) w zależności od czasu ekspozycji próbki w stanie wyjściowym pod naprężeniem, zrealizowanym na próbkach serii1 na powietrzu (b).

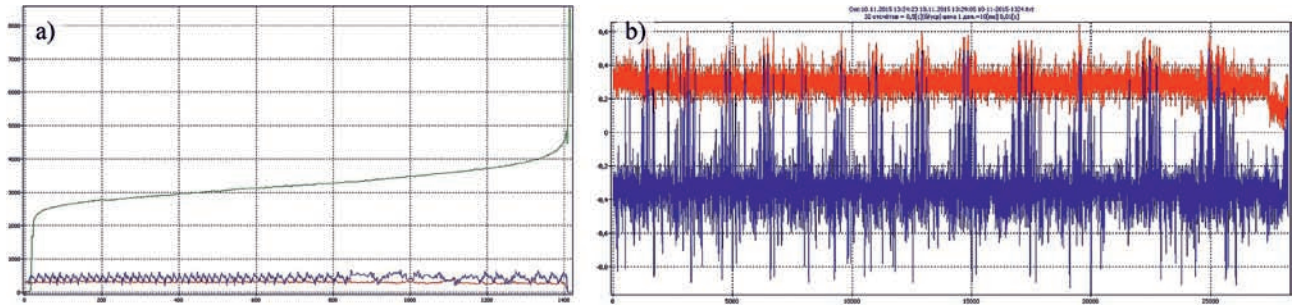


Fig. 2. Elongation curves (on permanent loading 370-450 MPa) in time (on vertical axis – Δl with step 0,01 mm, on horizontal axis – time in sec) of St3 kp specimen 15x2x1 mm after treatment in He with pressure 35 MPa and temperature 623 K during 10 hours. Lower curve – the average signal of semiconductor sensors that controls this process (a) and spectral sensitivity of the semiconductor sensors of the visible range (610-580 (upper curve) i 600-480 (lower curve) nm) depending on the time of the exposure of the samples of the series1 (b).

Rys. 2. Krzywe wydłużenia (przy stałym napreżeniu 370-450 MPa) w czasie (w prostokątnym kierunku – Δl z krokiem 0,01 mm, w poziomym – czas, sek.) próbek ze stali St3 kp 15x2x1 mm po obróbce w He z ciśnieniem 35 MPa przy temperaturze 623 K w ciągu 10 godz. Dolna krzywa – średni sygnał sensora półprzewodnikowego, który obserwuje ten proces (a) i czułość spektralna sensorów półprzewodnikowych zakresu widocznego (610-580 (górna krzywa) i 600-480 (dolna krzywa) nm) w zależności od czasu ekspozycji próbek serii 1 (b).

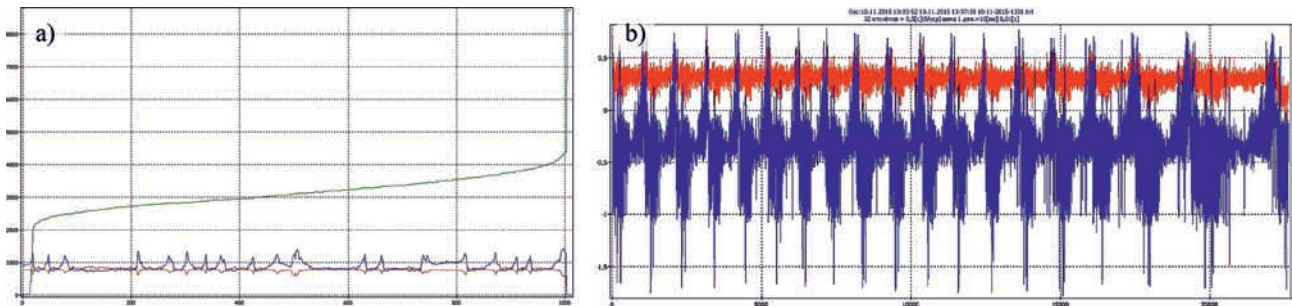


Fig. 3. Elongation curves (on permanent loading 370-450 MPa) in time (on vertical axis – Δl with step 0,01 mm, on horizontal axis – time in sec) of St3 kp specimen 15x2x1 mm after hydrogenation in gaseous H_2 with pressure 35 MPa and temperature 623 K during 10 hours. Lower curve – the average signal of semiconductor sensors that controls this process (a) and spectral sensitivity of the semiconductor sensors of the visible range (610-580 (upper curve) i 600-480 (lower curve) nm) depending on the time of the exposure of the samples of the series 1 (b).

Rys. 3. Krzywe wydłużenia (przy stałym napreżeniu 370-450 MPa) w czasie (w prostokątnym kierunku – Δl z krokiem 0,01 mm, w poziomym – czas, sek.) próbek ze stali St3 kp 15x2x1 mm po nawodrorowaniu w H_2 z ciśnieniem 35 MPa przy temperaturze 623 K w ciągu 10 godz. Dolna krzywa – średni sygnał sensora półprzewodnikowego, który obserwuje ten proces (a) i czułość spektralna sensorów półprzewodnikowych zakresu widocznego (610-580 (górna krzywa) i 600-480 (dolna krzywa) nm) w zależności od czasu ekspozycji próbek serii 1 (b).

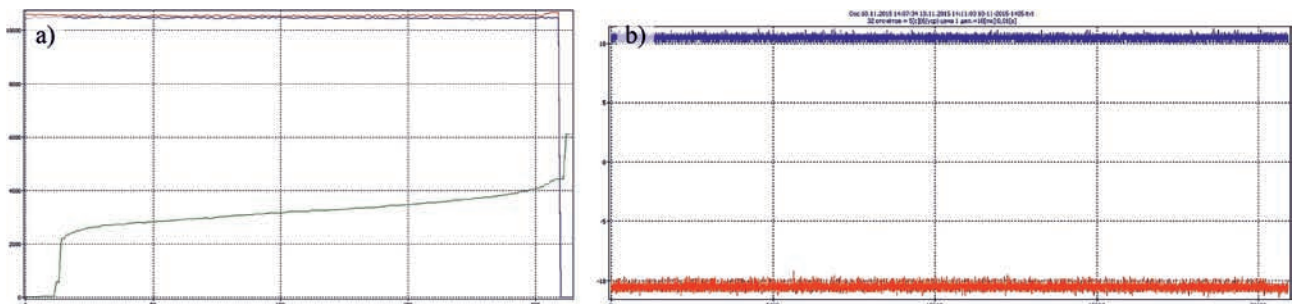


Fig. 4. Elongation curves (on permanent loading 370-450 MPa) in time (on vertical axis – Δl with step 0,01 mm, on horizontal axis – time in sec) of St3 sp specimen 15x2x1 mm in initial state. Lower curve – the average signal of semiconductor sensors that controls this process (a) and spectral sensitivity of the semiconductor sensors of the visible range (610-580 (upper curve) i 600-480 (lower curve) nm) depending on the time of the exposure of the samples in the initial state under the load, realized on the sample of the series2 in the air (b).

Rys. 4. Krzywe wydłużenia (przy stałym napreżeniu 370-450 MPa) w czasie (w prostokątnym kierunku – Δl z krokiem 0,01 mm, w poziomym – czas, sek.) próbek ze stali St3 sp 15x2x1 mm w stanie wyjściowym. Dolna krzywa – średni sygnał sensora półprzewodnikowego, który obserwuje ten proces (a) i czułość spektralna sensorów półprzewodnikowych zakresu widocznego (610-580 (górna krzywa) i 600-480 (dolna krzywa) nm) w zależności od czasu ekspozycji próbki w stanie wyjściowym pod napreżeniem, zrealizowanym na próbkach serii 2 na powietrzu (b).

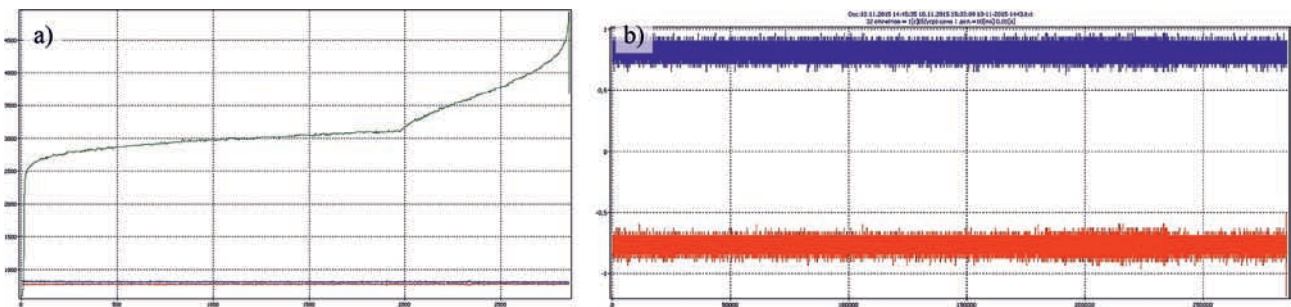


Fig. 5. Elongation curves (on permanent loading 370-450 MPa) in time (on vertical axis – Δl with step 0,01 mm, on horizontal axis – time in sec) of St3 sp specimen 15x2x1 mm after treatment in He with pressure 35 MPa and temperature 623 K during 10 hours. Lower curve – the average signal of semiconductor sensors that controls this process (a) and spectral sensitivity of the semiconductor sensors of the visible range (610-580 (upper curve) i 600-480 (lower curve) nm) depending on the time of the exposure of the samples of the series 2 (b)

Rys. 5. Krzywe wydłużenia (przy stałym naprężeniu 370-450 MPa) w czasie (w prostokątnym kierunku – Δl z krokiem 0,01 mm, w poziomym – czas, sek.) próbek ze stali St3 sp 15x2x1 mm po obróbce w He z ciśnieniem 35 MPa przy temperaturze 623 K w ciągu 10 godz. Dolna krzywa – średni sygnał sensora półprzewodnikowego, który obserwuje ten proces (a) i czułość spektralna sensorów półprzewodnikowych diapazonu widocznego (610-580 (gorna krzywa) i 600-480 (dolna krzywa) nm) w zależności od czasu ekspozycji próbek serii 2 (b)

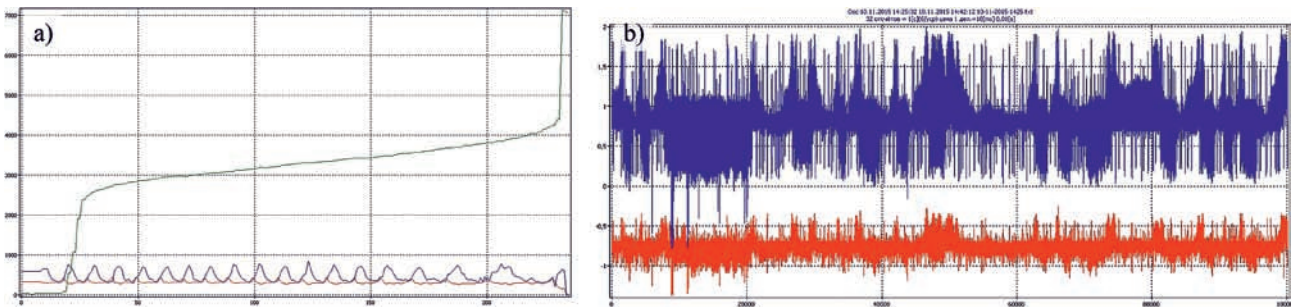


Fig. 6. Elongation curves (on permanent loading 370-450 MPa) in time (on vertical axis – Δl with step 0,01 mm, on horizontal axis – time in sec) of St3 sp specimen 15x2x1 mm after hydrogenation in gaseous H_2 with pressure 35 MPa and temperature 623 K during 10 hours. Lower curve – the average signal of semiconductor sensors that controls this process (a) and spectral sensitivity of the semiconductor sensors of the visible range (610-580 (upper curve) i 600-480 (lower curve) nm) depending on the time of the exposure of the samples of the series 2 (b)

Rys. 6. Krzywe wydłużenia (przy stałym naprężeniu 370-450 MPa) w czasie (w prostokątnym kierunku – Δl z krokiem 0,01 mm, w poziomym – czas, sek.) próbek ze stali St3 sp 15x2x1 mm po nawodrorowaniu w H_2 z ciśnieniem 35 MPa przy temperaturze 623 K w ciągu 10 godz. Dolna krzywa – średni sygnał sensora półprzewodnikowego, który obserwuje ten proces (a) i czułość spektralna sensorów półprzewodnikowych diapazonu widocznego (610-580 (gorna krzywa) i 600-480 (dolna krzywa) nm) w zależności od czasu ekspozycji próbek serii 2(b)

It is well known, that the analysis of large data helps engineering companies improve the team's productivity [8-10]. Even small changes in the formation of working groups can produce tremendous changes, increasing productivity by more than 22% [9]. Since the last time, the process of active commercialization of technology has taken place, several companies are building their business entirely on the creation of Hadoop commercial distributions and ecosystem services, and virtually all major information technology providers for organizations in one form or another include Hadoop in product strategies and line of solutions. In Big Data, the neurons of the network has built and to calculate the array of received information, the neural network was used (Fig. 7).

As input data we used: 1 – elongation curves, 2 – load, 3 – spectral sensitivity of semiconductor sensors of the visible range. Mathematically, an artificial neuron transforms the vector of input signals (influences) X into the vector of output signals Y using a function called the activation

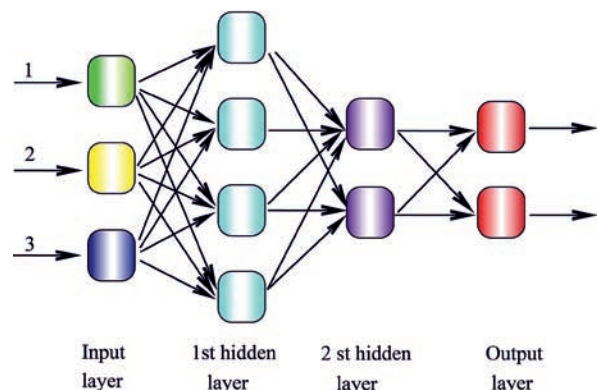


Fig. 7. Diagram of the neural network: 1 – elongation curves, 2 – load, 3 – spectral sensitivity of the semiconductor sensors of the visible range

Rys. 7. Schemat sieci neuronowej: 1 – krzywe wydłużenia, 2 – obciążenie, 3 – czułość spektralna sensorów półprzewodnikowych diapazonu widocznego

function. In the framework of the connection (artificial neural network – INS) there are three types of neurons: the input (receiving information from the outside world – the values of interest to us variables), output (return the desired variables – for example, predictions, or control signals), as well as intermediate – neurons that perform some internal ("hidden") functions. Classical INS, thus, consists of three or more layers of neurons, with the second and subsequent layers ("hidden" and output), each element is connected to all elements of the previous layer. It is important to keep in mind the notion of feedback, which defines the kind of structure of the INS: the direct transmission of the signal (the signals go consecutively from the input layer through the hidden and entering the output layer) and the recurrence structure, when the network contains links going back, from distant to nearer neurons). All these concepts constitute the necessary minimum of information for the transition to the next level of understanding of the INS – teaching the neural network, the classification of its methods and understanding the principles of each of them.

In general, the training of the INS is as follows: input neurons accept variables ("stimuli") from the external environment; according to the received information, the free parameters of the NA change (the intermediate layers of the neurons work). As a result of changes in the structure of the NC, the network "reacts" to information in another way. It is clear that the universal learning algorithm does not exist and, most likely, can not exist. Conceptually approaches to algorithm assumes that for each input ("learner") of a vector there is a necessary value of the original ("target") vector – thus, these two values form the learning pair, and the whole set of such pairs is an educational set. Thus system design and data science is an interdisciplinary direction and methodology for building intellectual environments designed to solve scientific and practical tasks of optimizing the life cycle of complex systems of various nature using resource-intensive computer technologies and expert analysis.

4. Conclusions

The semiconductor structure responds to investigations of the energy processes occurring in the metal during long term service. The stress-strain state of metal can be investigated by the amplitude-frequency characteristics (AFC) depending on the chemical composition of the material and the amount of defects accumulated during operation. Dynamics of changes in the frequency response allows to predict the pre-emergency status of the items. Data science

methodology is suitable for building intellectual environments designed to solve scientific and practical tasks of optimizing the life cycle of complex systems of various nature using resource-intensive computer technologies and expert analysis.

5. References/Literatura

- [1] T. Chady, K. Schabowicz, "Nieniszczące badania płyt włóknistocementowych z wykorzystaniem terahercowej spektroskopii w dziedzinie czasu, *Badania Nieniszczące i Diagnostyka*, vol. 1, no. 1-2, pp. 62-66, 2016.
- [2] E. Ballik, "Area and wavelength sensitivity of a photomultiplier", *Applied Optics*, vol. 10, no. 3, pp. 689-691, 1971. DOI 10.1364/AO.10.000689
- [3] A. Balitskii, V. Pokhmurskii, Y. Dzioba, "Heat Irradiation of Mono- and Polycrystalline Materials During Deformation and Destruction Process. *Fracture Mechanics: Successes and Problems*", presented at the 8th International Conference on Fracture, ICF-8, Kiev, Ukraine, Jun. 8-14, 1993, pp. 619-620.
- [4] A. Balitskii, M. Semerak, V. Balitska, A. Subota, O. Wus, "Hydrogen degradation of the pressure gas tanks materials after long-term service", *Solid State Phenomena*, vol. 225, pp. 39-44, 2015. DOI 10.4028/www.scientific.net/SSP.225.39
- [5] O. I. Balits'kyi, "Two methods of investigation of the influence of hydrogen on the propagation rate of a crack and behaviour of fracture of high-strength steels", *Materials Science*, vol. 34, no. 4, pp. 574-583, 1999. DOI 10.1007/BF02360710
- [6] A. Balitskii, O. Makhnenko, O. Balitskii, V. Grabovskii, D. Zaverbnyi, B. Timofeev, "Strength of materials and durability of structural elements of nuclear power plants" in *Fracture mechanics and strength of materials: Reference book*, vol. 8, Kiev, Ukraine, Publishing House of NASU "Akademperiodyka", 2005, p. 544.
- [7] O. Loshak, A. Balitskii, L. Pulkas, S. Lizunov, I. Ripey, O. Gurina, "Methodological recommendations of technical state diagnostic and evaluation of life time of steam turbine cast vessel details", *Decision of Minister of fuel and energetic of Ukraine No 124, 1.03.2007*, Kyiv: GRIFRE, p. 39.
- [8] K. Miadlicki, M. Pajor, M. Sakow, "Ground plane estimation from sparse LIDAR data for loader crane sensor fusion system", in *Proc. 22nd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics*, Miedzyzdroje, Poland, Aug. 28-31, 2017, pp. 717-722. DOI 10.1109/MMAR.2017.8046916.
- [9] T. Alhart, "A Date with Data: Taking Stock of the Emerging Digital Industrial Economy - GE Reports", *GE Reports*, 2018. [Online]. Available: <http://www.ge.com/reports/a-date-with-data-taking-stock-emerging-digital-industrial-economy-2/>. [Accessed: 1- Mar- 2018].
- [10] "Materials Science and Engineering Data Challenge | Challenge.gov", *Challenge.gov*, 2018. [Online]. Available: <https://www.challenge.gov/challenge/materials-science-and-engineering-data-challenge/>. [Accessed: 1- Mar- 2018].

Janina Rogozewicz

Wieloletnia działaczka Towarzystwa Badań Nieniszczących (SWM, SWIBM, TBN, TBNiDT SIMP) w Oddziale Poznańskim oraz Kierownik Laboratorium w Zakładach Przemysłu Metalowego H. Cegielski (HCP) w Poznaniu.

Pełniła różne funkcje społeczne w Oddziale Poznańskim SIMP:

- Sekretarz Naukowy SWIBM SIMP (1967-1979);
- Przewodnicząc Sekcji SWIBM SIMP (1980-1986);
- Członek Zarządu SWIBM SIMP (1987-1989).

Ponadto była:

- Członkiem Sądu Koleżeńskiego w ZG SIMP;
- Członkiem ZT SWIBM SIMP w Oddziale Poznań;
- Sekretarzem Komisji ds. Odznaczeń i Wyróżnień OW SIMP;
- Przewodniczącą Sądu Koleżeńskiego Związku Kobiet w HCP w Kole Terenowym SIMP w HCP.



mgr inż. Janina Rogozewicz

Była aktywnym uczestnikiem licznych międzynarodowych wydarzeń z zakresu tematyki badań nieniszczących, wygłaszając referaty m.in. na konferencjach w:

- 1968 r. – Słoneczny Brzeg, Bułgaria;
- 1970 r. – Hanower, Niemcy;
- 1971 r. – Brunszwik, Niemcy;
- 1972 r. – Brno, Czechosłowacja;
- 1974 r. – Bratysława, Czechosłowacja;
- 1974 r. – Wintertur, Szwajcaria;
- 1984 r. – Kazańnik, Bułgaria;
- 1986 r. – Praga, Czechosłowacja.

Prowadziła liczne szkolenia z Badań Nieniszczących dla pracowników HCP, a także innych zakładów produkcyjnych. W 1975 r. została Rzeczoznawcą SIMP w specjalizacji „Wytrzymałość Materiałów i Konstrukcji”. W 1986 r. uzyskała „Tytułarny III stopień” w badaniach nieniszczących.

Została odznaczona w:

- Srebrną Honorową Odznaką NOT (1972 r.);
- Medal za Zasługi dla Oddziału Poznańskiego SIMP z okazji 40-lecia istnienia Oddziału (1978 r.);
- Złota Odznaka Honorowa SIMP (1980 r.);
- Złota Odznaka Honorowa NOT (1982 r.);
- Medal za zasługi dla Oddziału Poznańskiego SIMP z okazji 50-lecia SIMP (1985 r.);
- Medal SIMP za zasługi 70-lecia Działalności (2005 r.);
- Odznaka im. Henryka Mierzejewskiego (2007 r.).

Posiada 20 publikacji opublikowanych w Biuletynie Technicznym HCP.

Urodziła się 30.06.1927 r. w Jarczewie k. Jarocina w Województwie Poznańskim. Kwalifikacje zawodowe ukończyła i uzyskała tytuł:

- Państwowym Liceum Mechanicznym w Poznaniu – technik mechanik (1950 r.);
- Wieczorowej Szkole Inżynierskiej w Poznaniu, Specjalizacja Technologia Budowy Pojazdów Mechanicznych – inżynier mechanik (1954 r.);
- Politechnika Poznańska, Specjalizacja Maszyny i Technologia Przeróbki Plastycznej Metali – magister inżynier mechanik (1967 r.);
- Politechnika Poznańska, Studium Podyplomowe Inżynierii Materiałowej (1976 r.);

Ukończyła również kursy specjalistyczne z badań nieniszczących:

- Towarzystwo Krzewienia Wiedzy Praktycznej Oddz. Poznań, Kurs Defektoskopii rentgenowskiej i Izotopowej (1961 r.);
- ZODOK SIMP w Warszawie – II stopień badania złączy spawanych i zgrzewanych metodą ultradźwiękową (1974 r.).

W okresie pracy zawodowej otrzymała następujące odznaczenia:

- Złoty Krzyż zasługi (1966 r.);
- Brązowa Odznaka Zasłużonego Pracownika HCP (1972 r.);
- Srebra Odznaka Zasłużonego Pracownika HCP (1978 r.);
- Odznaka Honorowa za Zasługi w Rozwoju Województwa Poznańskiego (1979 r.);
- Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski (1982 r.).

Obecnie jest członkiem Koła Emerytów SIMP w Oddziale Poznańskim.

46. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących

Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących (KKBN) jest największą imprezą krajową i jedną z większych w Europie w dziedzinie postępu i innowacyjności w badaniach nieniszczących i diagnostyce technicznej.

46. edycja Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących, którą mieliśmy zaszczyt i przyjemność dla Państwa zorganizować, przeszła do historii.

Konferencja odbyła się w dniach 17 - 19 października 2017 roku w Starachowicach, a uczestników konferencji gościł hotel Europa.

Ceremonię otwarcia poprowadzili: Joanna Adamczyk, przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego oraz Grzegorz Wojas, przewodniczący Komitetu Naukowego.



Tomasz Chady, prezes PTBNiDT SIMP oraz
Marta Wojas, wiceprezes PTBNiDT SIMP



Joanna Adamczyk, przewodnicząca Komitetu
Organizacyjnego



Ir Sajeesh K Babu - Chairman of The International Committee
for Non-Destructive Testing



Grzegorz Wojas, przewodniczący Komitetu Naukowego

Następnie głos zabrał Tomasz Chady, prezes PTBNiDT SIMP oraz Marta Wojas, wiceprezes PTBNiDT SIMP. Oficjalne otwarcie 46. KKBN oznajmił już tradycyjnie – dzwonek, symbol i nieodzowny atrybut corocznych spotkań świata NDT w Polsce.

Swoją obecnością zaszczytili nas znamienici goście: Ir Sajeesh K Babu, Vladislava Sekerášová oraz Gerd Dobmann.

Medal im. Profesora Zdzisława Pawłowskiego nadawany przez Zarząd Polskiego Towarzystwa Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej SIMP (PTBNiDT SIMP).

Odnaczenie to jest wyrazem najwyższego uznania za zasługi w zakresie nieniszczących badań materiałowych i diagnostycznych urządzeń i konstrukcji.

Medal przyznaje się za działalność, która w istotny sposób



Vladislava Sekerášová - Chairman of OS Transport,
Czech Society for Non-Destructive Testing - CNDT



Gerd Dobmann - Chairman of NDT
and Quality Assurance of the Saar University



Medal im. Profesora Zdzisława Pawłowskiego

przyczyniła się do rozwoju badań nieniszczących i diagnostyki technicznej.

Podczas ceremonii otwarcia, medalem im. prof. Pawłowskiego uhonorowano: Ś.P. Władysława Michnowskiego oraz Ryszarda Jawora.

W trakcie Konferencji przyznano także następujące wyróżnienia i nagrody:

- Nagrodę im. prof. Zdzisława Pawłowskiego przyznawaną przez Komitet Naukowy za najlepszy referat młodego uczestnika Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących, której fundatorem jest firma TECHNIC-CONTROL Sp. z o.o. otrzymał Krzysztof Fryczowski. Wygłoszony przez laureata referat pt.

„Wykorzystanie szumu Barkhausena w ocenie twardości warstw nawęglanych oraz hartowanych indukcyjnie na stali AMS 6414” to wspólne opracowanie laureata oraz Macieja Roskosza, Dominika Kukli i Macieja Szweda.



Ś. P. Władysław Michnowski



Wręczenie medalu im. Profesora Zdzisława Pawłowskiego
Ryszardowi Jaworowi
przez Martę Wojas i Tomasza Chadęgo



Dariusz Buchczik, Jan Wegehaupt, Tomasz Chady w trakcie wręczenia nagrody prezesa PTBNiDT za najlepszą pracę magisterską z dziedziny NDT

- Nagrodę prezesa PTBNiDT za najlepszą pracę magisterską z dziedziny badań nieniszczących otrzymał Jan Wegehaupt - absolwent Wydziału Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej. Zarząd PTBNiDT uznał za najlepszą pracę na temat "Pomiar

wilgotności i przepływu produktów mielenia w młynie elektromagnetycznym"



Sesja – sala plenarna



Sesja równoległa

Na dwóch salach wystawowych – 27 wystawców zaprezentowało swoją ofertę, zaperwniając możliwość poznania najnowszych trendów w badaniach nieniszczących oraz nowoczesnego wyposażenia do ich prowadzenia.



Wystawcy i zwiedzający

Zorganizowano również dwie sesje warsztatowe. Ekspersi firmy Everest Polska Sp. z o.o. w praktycznych zajęciach prezentowali „Metody pomiarowe w badaniach wizualnych”, natomiast warsztaty „Radiografia cyfrowa w praktyce” – odbyły się pod okiem ekspertów z firmy NDT-NET Sp. z o.o.

Intensywne trzy dni konferencji to napięty program, 36 referatów, ponad 300 gości, ciekawe wydarzenia i imprezy towarzyszące.

Sesje plenarne i równoległe wypełniło 36 referatów naukowych, których treść została udostępniona na łamach „Przeglądu Spawalnictwa” oraz „Badań Nieniszczących i Diagnostyki”. Poranki i przedpołudnia wypełniło siedem sesji werbalnych. Dodatkowo mieliśmy okazję poznać opracowania naukowe w formie 5 posterów.



Warsztaty



Uroczysta kolacja



Wycieczka

Dzięki Państwa udziału, tegoroczna edycja tej niemal półwiecznej tradycji kongresu w dziedzinie badań nieniszczących, przebiegała w tak pozytywnej atmosferze.



Uczestnicy 46. Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących

W imieniu całego Komitetu Organizacyjnego i Naukowego jeszcze raz serdecznie dziękujemy za Państwa obecność podczas 46. KKBN. Mamy nadzieję, że tegoroczna konferencja okazała się udana i przyczyni się znacząco do rozwoju branży.

Na stronie internetowej Polskiego Towarzystwa Badań Nieniszczących i Diagnostyki Technicznej www.ptbnidt.pl w zakładce "KONFERENCJE" - do pobrania znajduje się informacja o odbytej konferencji w formie PDF zawierająca odnośniki do galerii zdjęć oraz filmu.

Tadeusz Morawski
UTiE "Level", Warszawa, Polska

Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych „Stary Młyn 2017”

W dniach 4 do 6 września 2017 r. odbyła się kolejna, już dziewiętnasta Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych (KKBR), tym razem w Ośrodku Konferencyjnym „Stary Młyn”, położonym nad rzeką Prosną w Bolesławcu koło Wieruszowa. Organizatorzy konferencji to: Politechnika Opolska, firma NDT System oraz współpracująca firma: Usługi Techniczne i Ekonomiczne "Level" i redakcja czasopisma „Badania Nieniszczące i Diagnostyka”.

Konferencję otworzył przewodniczący Komitetu Organizacyjnego Sławomir Józwiak. Sesję Inauguracyjną prowadził Tadeusz Morawski (Rys. 1), na której referat [1] wygłosiła Zuzanna Podgórska. Przypomniała, że mija 60 lat działalności Instytutu badawczego CLOR, która nastawiona jest na ochronę przed skutkami promieniowania jonizującego społeczeństwa i osób. W prezentacji opisano metody



Rys. 1. Sławomir Józwiak i Tadeusz Morawski (z prawej)

pomiarowe w dziedzinie dozymetrii promieniowania jonizującego, radiochemiczne metody analityczne, metody oceny narażenia populacji w warunkach normalnych i awaryjnych oraz unikalne metody oznaczania izotopów promieniotwórczych w środowisku i w organizmie człowieka.



Rys. 2. Referują: Zuzanna Podgórska [1] i Łukasz Kobus [5]

Uroczystym punktem programu w pierwszym dniu KKBR była ceremonia wręczenia dwóm osobom Złotych Radiogramów (Rys. 3) jako nagrodę za wyróżniające osiągnięcia w badaniach nieniszczących, a w szczególności Tomaszowi Radkiewiczowi za stosowanie metody radiograficznej w badaniach złączy spawanych na rurociągach i innych obiektach energetycznych oraz Andrzejowi Radomskiemu za popularyzację metody radiograficznej oraz osiągnięcia w szkoleniu i certyfikowaniu personelu NDT.



Rys. 3. Laureaci: Andrzej Radomski (z lewej) i Tomasz Radkiewicz oraz mistrz ceremonii Grzegorz Jezierski i Sławomir Jóźwiak

Program konferencji obejmował trzy zagadnienie: radiografię cyfrową RT-D [2÷5 i 8], badanie złączy spawanych [4, 7, 9] oraz ochronę przed promieniowaniem [1, 6]. Taki program wiązał się z propozycją udziału w zajęciach warsztatowych z odczytywania i oceny radiogramów wykonanych techniką radiografii komputerowej CR (na płytach obrazowych IP) i technikami zobrażenia bezpośredniego, które wykorzystują detektory typu płaski panel DDA (Digital Detector Arrays).

Bardzo praktyczny referat [3] Sławomira Mackiewicza podaje podstawowe zasady wykonywania ekspozycji przy użyciu paneli płaskich z przemianą pośrednią opartych na optoelektronicznych matrycach z amorficznego krzemu (a-Si). Dla zrozumienia wymagań dotyczących kalibracji panelu oraz zasad obliczania czasów ekspozycji wyjaśnił pewne aspekty działania panelu na poziomie pikseli matrycy TFT.

Szczegółowo opisane zostały:

- budowa i działanie matrycy światłoczułej;
- kalibracja panelu;
- obliczanie czasów ekspozycji metodą prób i błędów lub dzięki skorzystaniu ze specjalistycznego oprogramowania, na przykładzie programu Rentex DR.



Rys. 4. Dyskusja nad referatem Marka Śliwowskiego (przy laptopie)

Marek Śliwowski opisał [4] zmechanizowany system radiografii cyfrowej XPRESS Scan - 3Endt, który stosowany jest przy badaniach obwodowych złączy spawanych w rurociągach DN 400 ÷ 1420 mm i zakresie grubości 4 ÷ 30 mm. Dla celów porównań walidacyjnych wykorzystano radiogramy na błonach oraz obrazy cyfrowe po digitalizacji tych radiogramów. Autor zamieszcza liczne przykłady ulepszonego zobrażenia radiogramów uzyskiwanych systemem cyfrowym oraz analogowych po procesie digitalizacji. Podana została także ocena powtarzalności i odtwarzalności obrazów radiograficznych.

Tab. 1. Wybrane detektory stosowane do obrazowania

Technologia	Typ	Wielkość piksela μm	Powierzchnia aktywna mm $\times$ mm	SNR (max)	DQEMAX
Reakcje chemiczne	Błona bez lub z okładkami	-	350 $\times$ 420	<200	~0,30
CR	Płyta obrazowa	40 - 50	350 $\times$ 420	200 - 350	~0,45
Scyntylacje	α -Si	127 - 400	400 $\times$ 400		~0,80
	CMOS	50 - 100	100 $\times$ 100	3800	
	CCD	10 - 25	25 $\times$ 25	>6000	
Półprzewodniki	α -Se	127 - 400	400 $\times$ 400	>10000	~0,45
	CdTe	100	100 $\times$ 00	>3000	

Rodzaje detektorów promieniowania X, ich zastosowanie oraz zasady fizyczne działania i podstawowe parametry zawiera referat [2] przedstawiony przez Grzegorza Jezierskiego.

W tablicy powyżej umieszczone przez autora detektory najczęściej przeznaczone są do obrazowania.

Jednym z kierunków prowadzonych badań w Narodowym Centrum Badań Jądrowych jest szybka radiografia [5], tj. rejestracja pojedynczych radiogramów cyfrowych oraz ich sekwencji przy czasie pojedynczej ekspozycji w zakresie 0,01 ms - 0,2 ms. W imieniu zespołu autorskiego referat wygłosił Łukasz Kobus (rys. 2) podając techniczne aspekty szybkiej radiografii oraz przykładowe sekwencje radiogramów.



Rys. 5. Forum dyskusyjne podczas warsztatów radiografii cyfrowej. Przy laptopie Robert Kordowski

Najważniejszym wyzwaniem dla systemu CR jest jakość digitalizacji, która decyduje o czytelności radiogramów cyfrowych. Sławomir Józwiak przedstawił prezentację przygotowaną przez GE Company, w której porównano parametry osiągnięte przez skanery stosowane w radiografii komputerowej zgodnie z wymaganiami norm EN14784-1:2005 i ASTM 2446-15.

Złącza spawane z termoplastycznych tworzyw sztucznych stosuje się w coraz większym zakresie, a podstawową metodą oceny ich jakości są badania wizualne. Referat [7] Autorów z Instytutu Spawalnictwa wzbudził szeroką dyskusję, w którym zaprezentowali własne badania doczołowych złączy próbnych z płyt polipropylenowych o różnych grubościach zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 13100-1. Kryterium odbiorczym były wymagania normy PN-EN 16296, dotyczące granicznych niezgodności spawalniczych dla poziomów jakości B, C i D z uwzględnieniem techniki spawania ręcznym ekstruderem.

Zajęcia warsztatowe radiografii cyfrowej, na specjalnej sesji, przekształciły się w dyskusję i przekazywanie opinii i doświadczeń ze stosowania technik RT-D (Rys. 5). Brak własnych laptopów ograniczył możliwość samodzielnego ćwiczenia.

Obok wcześniej wymienionych tematów, w programie znalazły się aktualne informacje o nowych normach PN i problemach terminologicznych w radiografii. Zostało zaprezentowane nowe czasopismo dla środowiska NDT, pt.: „Badania Nieniszczące i Diagnostyka”, a wszyscy uczestnicy KKBR otrzymali po egzemplarzu numeru 1-2/2017.

Na konferencji otwarta była również tradycyjna wystawa sprzętu i aparatury do badań nieniszczących. W następnym roku KKBR obchodzić będziemy 20-lecie. Termin tej jubileuszowej konferencji: 10-12 września 2018 roku. Zapraszamy.

Główne prezentacje:

- [1] Zuzanna Podgórska: Działalność Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej
- [2] Grzegorz Jezierski: Detektory promieniowania rentgenowskiego (promieniowania X)
- [3] Sławomir Mackiewicz: Podstawowe zasady przeprowadzania ekspozycji radiograficznych na panelach płaskich
- [4] Marek Śliwowski: Zmechanizowane badania złączy spawanych techniką radiografii cyfrowej DR
- [5] Wojciech Dziewiecki, Łukasz Kobus, Michał Matusiak, Sławomir Wronka: Wyniki badań nad szybką radiografią cyfrową
- [6] Zuzanna Podgórska: Dobór parametrów przyrządów dozymetrycznych
- [7] Janusz Czuchryj, Sławomir Sikora: Aspekty oceny wizualnej połączeń spawanych z tworzyw termoplastycznych
- [8] Sławomir Józwiak wg prezentacji Peter Willems i Steven Wissels: Radiografia komputerowa. Porównanie skanerów w systemie CR
- [9] Tadeusz Morawski: Czynniki ludzkie przy ocenie radiogramów złączy spawanych

Informacje dla Autorów i Czytelników

PROFIL CZASOPISMA

Kwartalnik „Badania Nieniszczące i Diagnostyka” jest czasopismem naukowo-technicznym Wydawanym przez Stowarzyszenie Inżynierów Mechaników Polskich w Warszawie we współpracy z Towarzystwem Badań Nieniszczących.

Odbiorcami czasopisma są specjaliści, ośrodki naukowe, dydaktyczne i organizacje gospodarcze zainteresowane problematyką określoną w tytule czasopisma. Czasopismo jest wysyłane również do ważnych ośrodków zagranicznych zainteresowanych tą tematyką.

Czasopismo wydawane jest w języku polskim i jest dostępne zarówno w wersji drukowanej jak i w elektronicznej w internecie. Artykuły publikowane w języku polskim mają dodatkowo streszczenia oraz opisy rysunków i tabel w języku angielskim. Wybrane artykuły naukowe publikowane są w języku angielskim.

W czasopiśmie „Badania Nieniszczące i Diagnostyka” są publikowane oryginalne komunikaty i artykuły dotyczące:

- metodologii badań,
- certyfikacji w badaniach,
- charakterystyki urządzeń, sprzętu, materiałów i systemów w badaniach nieniszczących,
- diagnostyki,
- szkoleń, przepisów i normalizacji,
- praktyki badań w przemyśle i poradnictwa technicznego,
- wydarzeń, karier zawodowych specjalistów i ich doświadczeń zawodowych.

WSKAZÓWKI DLA AUTORÓW

Objętość artykułu powinna wynosić do 10 stron, a komunikatu 1 ÷ 4 stron wydruku komputerowego na arkuszu formatu A4 bez tabulatorów i wcięć, czcionka Times New Roman 12, marginesy górny, dolny, lewy i prawy - 2,5 cm.

Rysunki i tablice z ich tytułami winny być umieszczane w tekście. Rysunki, wykresy i fotografie należy nazywać rysunkami (np. Rys. 1), a tablice (np. Tab. 3) i numerować cyframi arabskimi.

Opisy znajdujące się na rysunkach oraz grubość linii powinny mieć wielkość umożliwiającą zmniejszenie rysunku do 30%. Maksymalna szerokość rysunku jednoszpaltowego wynosi 8,5 cm, natomiast dwuszpaltowego 17,5 cm.

Rysunki wykonane komputerowo winny być w oddzielnych plikach w formacie JPEG min. 300 DPI.

Jednostki - układ SI.

Artykuł powinien zawierać:

- informacje o autorach: stopnie naukowe lub zawodowe, instytucja i zdjęcia (w osobnym pliku);
- imię i nazwisko;
- tytuł artykułu;
- streszczenie (do 0,5 strony) z informacją dotyczącą problematyki artykułu, metodyki badań, obliczeń lub analizy problemu oraz wyniku końcowego;
- tekst wraz z podziałem na zatytułowane rozdziały;
- wnioski końcowe;
- wykaz literatury; pozycje literatury numerowane cyframi arabskimi w kwadratowych nawiasach i w kolejności cytowanej w tekście.

Artykuły w formie pliku Word należy przysłać na adres e-mail: wydawnictwo@ptbnidt.pl wraz wypełnionym drukiem „Zgłoszenie publikacji” dostępnym na naszej stronie [www: www.bnid.pl](http://www.bnid.pl).

OGŁOSZENIA I ARTYKUŁY PROMOCYJNE

Ogłoszenia i artykuły promocyjne w kwartalniku „Badania Nieniszczące i Diagnostyka” – czasopiśmie ogólnopolskim dostępnym w formie drukowanej i elektronicznej na naszej stronie internetowej docierają do szerokiej grupy specjalistów.

W czasopiśmie zamieszczane są kolorowe i czarno-białe: ogłoszenia reklamowe na okładkach lub wewnątrz numeru oraz wrzutki dostarczane przez zleceniodawcę; artykuły techniczno-informacyjne jak również informacje o wydarzeniach oraz imprezach naukowo-technicznych. Cennik i forma ogłoszeń dostępne są na naszej stronie [www: www.bnid.pl](http://www.bnid.pl).

PRENUMERATA

Aktualne wydania dostępne w prenumeracie: 1–4/2018 oraz archiwalne: 1–2/2016; 1–2/2017; 3/2017; 4/2017.

Prenumerata realizowana jest przez Redakcję. Kontakt i zamówienia pod adresem mailowym: prenumerata@bnid.pl.



CONTROL - TECH

Targi Przemysłowej Techniki Pomiarowej
oraz Badań Nieniszczących

Przemysłowa jesień
w Targach Kielce

25-27.09.2018
Kielce

Równolegle odbędą się:



METAL



ALUMINIUM & NONFERMET



RECYKLING

2871

zwiedzających



Twój Mentor pomocze Ci podjąć właściwą decyzję

Przedstawiamy WideoEndoskop
- Mentor Visual iQ™

Mentor Visual iQ™ to szybsze i dokładniejsze badania. Łączność w czasie rzeczywistym, intuicyjny ekran dotykowy, indywidualne profile użytkownika oraz trójwymiarowe obrazowanie w Pomiarze Fazowym 3D, to tylko niektóre możliwości, znacznie podnoszące efektywność badań wizualnych. Inteligentne rozwiązania wbudowane w urządzenie VideoProbe™, to nie tylko większa efektywność badań, ale przede wszystkim trafniejsze decyzje.

Więcej na temat nowego podejścia
GE do badań nieniszczących na:
everestvit.pl lub endoskopy.pl

