

Badania Nieniszczące i Diagnostyka

4/2017

Kwartalnik Naukowo-Techniczny

Nondestructive Testing and Diagnostics



Szkolenia, egzaminy i certyfikacja personelu NDT

TÜV Rheinland Polska organizuje szkolenia z badań nieniszczących w 1., 2. i 3. stopniu kwalifikacji w metodach ET, MT, PT, VT, RT, UT oraz technikach UT-PA (Phased Array) i UT-TOFD według wymagań normy EN ISO 9712. Oferowane szkolenia obejmują zakres Dyrektywy Urzędów Ciśnieniowych 2014/68/UE.

Egzaminy kwalifikacyjne i proces certyfikacji przeprowadzane są przez niezależną i akredytowaną przez PCA Jednostkę Certyfikującą Osoby (nr AC 195). TÜV Rheinland Polska jest również uznaną organizacją trzeciej strony upoważnioną do poświadczania kompetencji personelu NDT prowadzącego badania połączeń nierozłącznych na urządzeniach ciśnieniowych kategorii III i IV wg dyrektywy 2014/68/UE.



AC 195

www.tuv.pl

 **TÜVRheinland®**
Precisely Right.

**46. Krajowa Konferencja
Badań Nieniszczących**
17-19 października 2017, Starachowice

ISSN 2451-4462



9 772451 446003



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:

mentorvisualiQ.com lub endoskopy.pl

technologia badań
wizualnych

Everest
Polska

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





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

Sławomir Krajewski

REDAKTOR WYDAWNICZY / PUBLISHING EDITOR

Adam Sajek

REDAKTORZY DZIAŁOWI / SECTION EDITORS

METODOLOGIA BADAŃ / RESEARCH METODOLOGY

Dr Sławomir Mackiewicz, Dr Marek Sliwowski

CERTYFIKACJA W BADANIACH / CERTIFICATION IN RESEARCH

Mgr Bogdan Piekarczyk, Mgr Marta Wojaś

URZĄDZENIA I SYSTEMY BADAŃ

/ EQUIPMENT 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, Greece

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. Sławomir 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 Sławomir 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 Stania, Instytut Spawalnictwa w Gliwicach, Polska

Prof. Jacek Szelażek, IPPT PAN, Polska

Prof. Andrzej Szymański, Politechnika Śląska, Polska

Dr Marek Śliwowski, 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 Udupa, Michigan State University, USA

Prof. Gábor Vértessy, Hungarian Academy of Sciences, Hungary

Dr Grzegorz Wojaś, UDT, Polska

Prof. Sławomir 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 4/2017

ISSN 2451-4462

VOLUMEN 2

SPIS TREŚCI

Yurii Yaremenko

Simple guide for the fluorescent suspensions pre-selection in MPI
depends on ambient light conditions and surface roughness* 3

Tomasz Katkowski, Mateusz Bańka

Zastosowanie badań nieniszczących w praktyce dozоровej* 7

Roman Martyna, Maciej Martyna

Polska technologia badania lin stalowych najpoważniejszych urządzeń
linowych na świecie* 11

Krzysztof Schabowicz, Tomasz Gorzelańczyk, Rafał Budzisz,

Maciej Roskosz, Janusz Juraszek

Nieniszczące badania struktury materiałów włókniasto-cementowych
z użyciem mikroskopii optycznej stosowanej w metalografii* 17

Marian Jósko

Zastosowanie metody PPM do oceny pary czarnej w układzie
hamulcowym samochodu* 22

Tomasz Katz

Sprawdzanie i weryfikacja defektoskopów ultradźwiękowych* 29

Marta Wojaś

Wpływ czynników ludzkich na wiarygodność wyników badań
nieniszczących* 34

Informacje dla Autorów i Czytelników 38

* - artykuł recenzowany

REKLAMY NA OKŁADCE

TUV 1
EVEREST 2
NDT Test System 3
MR Chemie 4

REKLAMY W NUMERZE

CASP 2, 28
EVEREST 10
Instytut Spawalnictwa 33

46. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących 17-19 października 2017, Starachowice

PATRONAT I STAŁA WSPÓŁPRACA
/PATRONAGE AND PERMANENT COOPERATION

casp system 
ADVANCED TECHNOLOGIES

 TÜVRheinland®
Precisely Right.

 TELEMOND
HOLDING



PTBNiDT



badania wizualne
 Everest
Polska www.endoskopy.pl

 MR
NDT-materials

Nowoczesne rozwiązania wiroprowadowe EDDYFI

Badanie spoin jako alternatywa badań magnetyczno - proszkowych

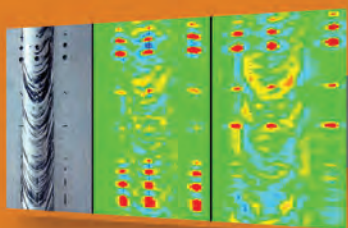


REDDY® - PRZENOŚNE URZĄDZENIE WIROPRAWDOWE W TECHNICE ECA



REDDY®

- » Konfiguracja - 32, 64 lub 96 - kanałów ECA
- » Nowoczesny ekran dotykowy z pełnymi możliwościami PC
- » Płynny i szybki interfejs badania oraz raportowania
- » Przenośne urządzenie z programem Magnifi® GO
- » Katalog standardowych sond ECA
- » Możliwość zastosowania sond niestandardowych ECA
- » Obsługiwane sondy: Sharck™, Sondy elastyczne I-Flex™ oraz inne
- » Wzmocniona konstrukcja - spełnia wytyczne normy MIL-STD-810G, metoda 516.6, procedura IV



SHARCK™ - GŁOWICE WIROPRAWDOWE DO BADANIA SPOIN W TECHNICE ECA

SHARCK™

- » Zawiera zaawansowany system wiroprowadowy wielocewkowy bazujący na układzie tangencjalnym cewek (TECA)
- » Prędkość badania do 600mm/s - w zależności od modelu głowicy
- » Wykrywanie wad wzdluznych i obwodowych podczas jednego skanowania
- » Szerokie pokrycie badanej powierzchni lica oraz stref SWC
- » Łatwa interpretacja dzięki zobrazowaniu C-scan 2D/3D
- » Możliwość pomiaru głębokości pęknięć - oparte na rzeczywistym pomiarze z wykorzystaniem techniki TECA
- » Automatyczny odczyt - długość, głębokość wady oraz liftoff
- » Automatyczna kompensacja liftoff i zmian właściwości materiału
- » Pełne możliwości zapisu i archiwizacji danych



Złącza doczołowe



Złącza kątowe



Casp System Sp. z o.o.

ul. Puszkina 2, 43-603 Jaworzno

tel.: +48 32 720 24 04 / +48 32 614 12 29 / fax: +48 32 750 56 06 / e-mail: ndt@casp.pl

www.ndt24.pl

casp system
ADVANCED TECHNOLOGIES



Yuri Yaremenko*
MR Chemie GmbH, Germany

Simple guide for the fluorescent suspensions pre-selection in MPI depends on ambient light conditions and surface roughness

Przewodnik doboru MPI zawiesin fluorescencyjnych w zależności od warunków oświetlenia i chropowatości powierzchni

ABSTRACT

Taking into consideration the rising expectations and demands of various industries, the constant requirement arise of customizing existent solutions or developing new products for the need of nondestructive testing and evaluation. Following the philosophy to provide personnel and environment friendly test media, as core requirement for each new development, we engineer our new solutions taking into account different process conditions and safety regulations. In case of magnetic particles inspection, we propose variety of fluorescent suspensions tailored to maximize contrast of indications depends on surface roughness and ambient lighting conditions.

In current paper, we would like to illustrate how external light conditions contribute to fluorescent indications appearance on different examination surfaces, and how detection media cope with these variables, maximizing contrast of indications and making interpretation process easier.

Keywords: magnetic-particles inspection, contrast of magnetic inks indications, fluorescence of indications

STRESZCZENIE

Biorąc pod uwagę rosnące oczekiwania i wymagania różnych branż, pojawia się stały wymóg przed dostosowywaniem istniejących rozwiązań lub opracowywaniem nowych produktów na potrzeby nieniszczących testów i oceny. Zgodnie z tą filozofią, jako podstawowego wymogu, w celu dostarczenia środków przyjaznych dla operatorów i środowiska badań, opracowujemy nowe rozwiązania uwzględniające różne warunki procesu i przepisy bezpieczeństwa. W przypadku użycia metody MPI (Magnetic Particle Inspection) proponujemy stosowanie różnorodnych zawiesin fluorescencyjnych, by uzyskać maksymalizację kontrastu wskazań zależnych od chropowatości powierzchni i warunków oświetlenia otoczenia.

W bieżącym artykule chcemy zilustrować, jak zewnętrzne warunki świetlne wpływają na wygląd wskaźników fluorescencyjnych na różnych powierzchniach badanych oraz jak media reagują na te zmienne, zwiększając kontrast wskazań i ułatwiając interpretację.

Słowa kluczowe: badania magnetyczno-proszkowe, kontrast wskazań magnetycznych zawiesin, fluorescencyjne wskazania

1. Introduction

Indications appearance in magnetic particles inspection with fluorescent suspensions is bright and lush. They are also different. External variables, like surface roughness and ambient light conditions, influence on signal-to-noise ratio, where "signal" refers to indication brightness and "noise" - mainly to background fluorescence. By "adjusting" magnetic suspension recipe it is possible to improve this ratio and ease interpretation process.

2. Test essentials

For numerous tests performance we chose our 4 water-based concentrates (Fig.1):

- № 1 – our standard suspension with yellow-green moderate fluorescence
- № 2 – suspension with mostly same recipe as №1, dedicated for cases where long breaks or high humidify at work are expected.
- № 3 – completely another recipe, which provides higher fluorescence brightness and has another color of fluorescence, shifted to green spectrum.
- № 4 – has also high fluorescence, but differ by higher

grain size and cold green color of fluorescence.

During the test, process parameters: magnetization current, UV intensity, exposure time of the digital camera remained constant, as well as dilution ratios were in compliance to manufacturer specification.

3. Examination of smooth surface under different ambient light intensities

Firstly, we applied each testing media on the part with smooth surface under different darkness conditions, namely white light emissions on examined part were in the range 4-6, 30-40 and 260-280 lux. Examination under intensive white light emissions is limited by [1] to 20 lux. Nevertheless, there are group of customers which are working beyond the norm requirements.

First series of images were made under 4-6 lux darkness condition.

Here we can compare background fluorescence generated by each of suspension (Fig.2). №1 produces less background compare to other products. Suspensions №3 & №4 have higher background however brightness of indications is extensively higher. It is possible to evaluate by comparing of areas beneath indications. Taking into account curved profile of the part, the matrix of digital camera catch an

* Autor korespondencyjny. E-mail: yaremenko@mr-chemie.de

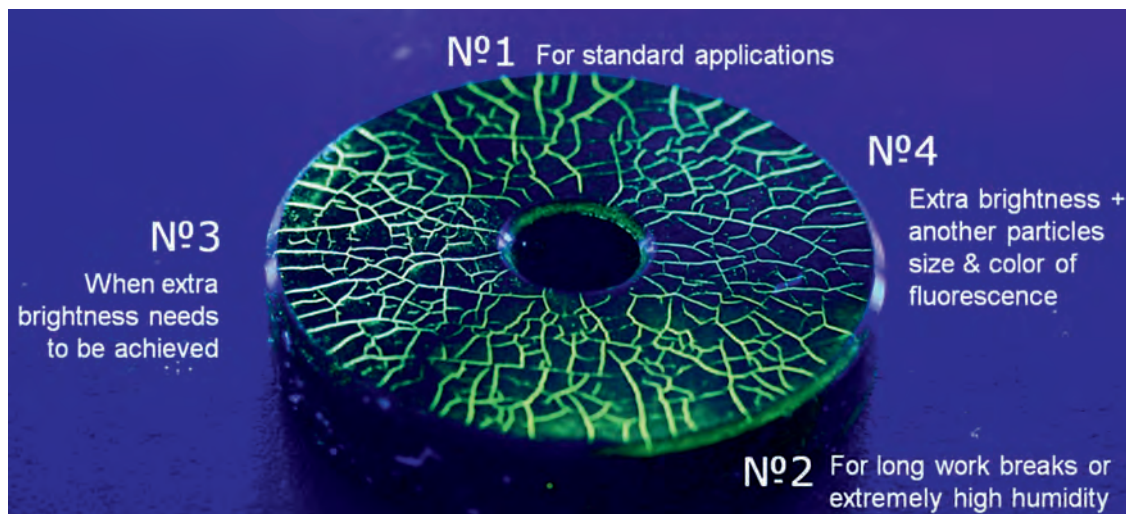


Fig. 1. Indications pattern of 4 different magnetic suspensions on reference block 1
Rys. 1. Wzór wskazań 4 różnych zawiesin magnetycznych na bloku odniesienia 1



Fig. 2. Indications on smooth surface under 4-6 lux ambient light
Rys. 2. Wskazania na gładkiej powierzchni przy oświetleniu poniżej 4-6 luksów

optical effect, wherein brighter objects create deeper shadow in direction of UV propagation.

On the image with №4 suspension we can also observe more grainy background. And it is not surprising, as in this product bigger magnetic particles are used.

With escalating of white light intensity (to 30..40 lux) suspensions №3 & №4 retain more intensive indication brightness, however the difference seems to be less.

Finally, with extremely high ambient light (260...280 lux), images show another correlation. High fluorescent products

lost in their indication brightness, whereas color of indications starts to play dominant role in achievement of higher contrast. №1 & №2 products with yellow-green color of fluorescence optically show higher contrast of indications in compare to other products (Fig.3).

4. Examination of rough surface under different ambient light intensities

Than, we analyzed how behave the same suspensions on the rough surfaces. We did not take the photos of test results

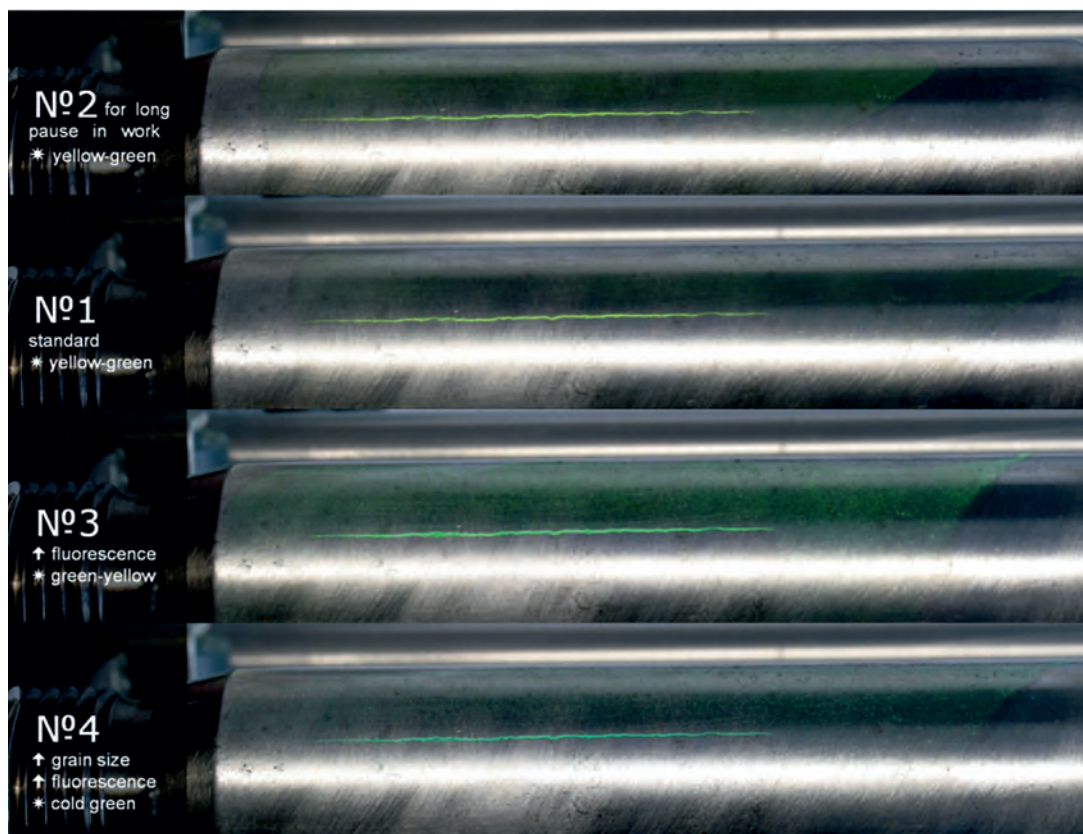


Fig. 3. Indications on smooth surface under 260-280 lux ambient light
Rys. 3. Wskazania na gładkiej powierzchni przy oświetleniu 260-280 luksów

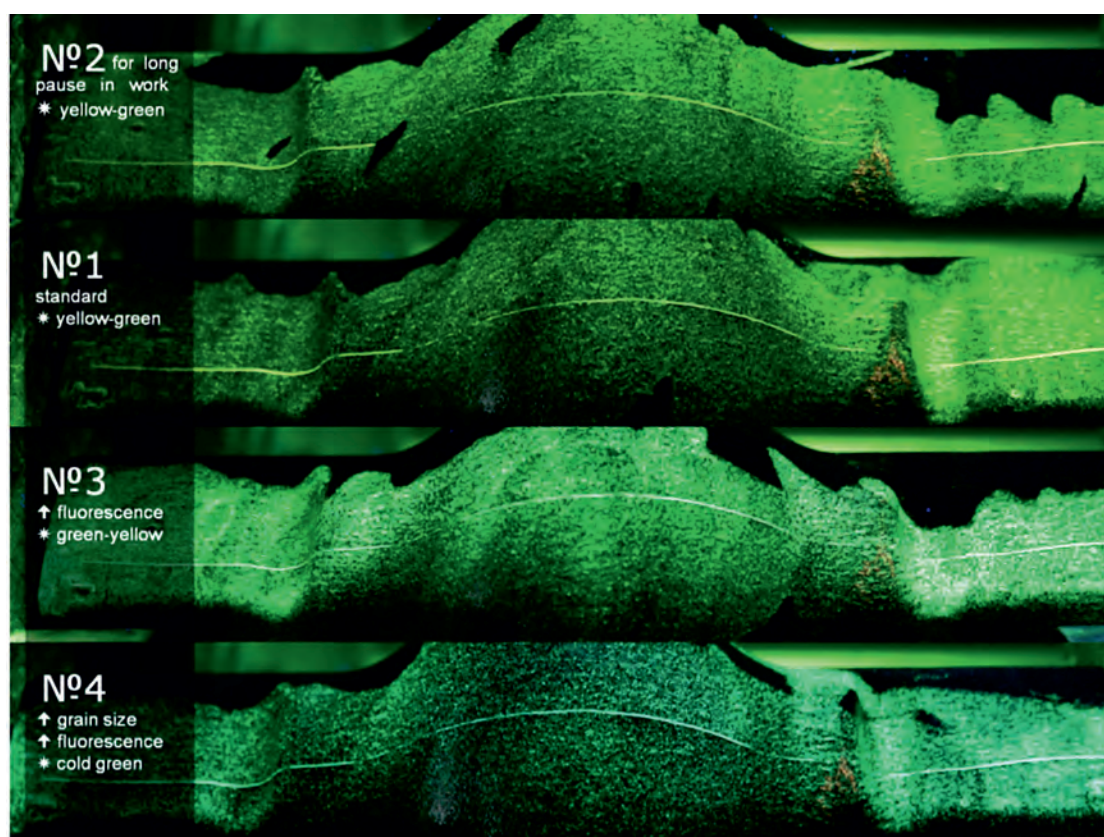


Fig. 4. Indications on rough surface under 4-6 lux ambient light
Rys. 4. Wskazania na chropowatej powierzchni przy oświetleniu poniżej 4-6 luksów

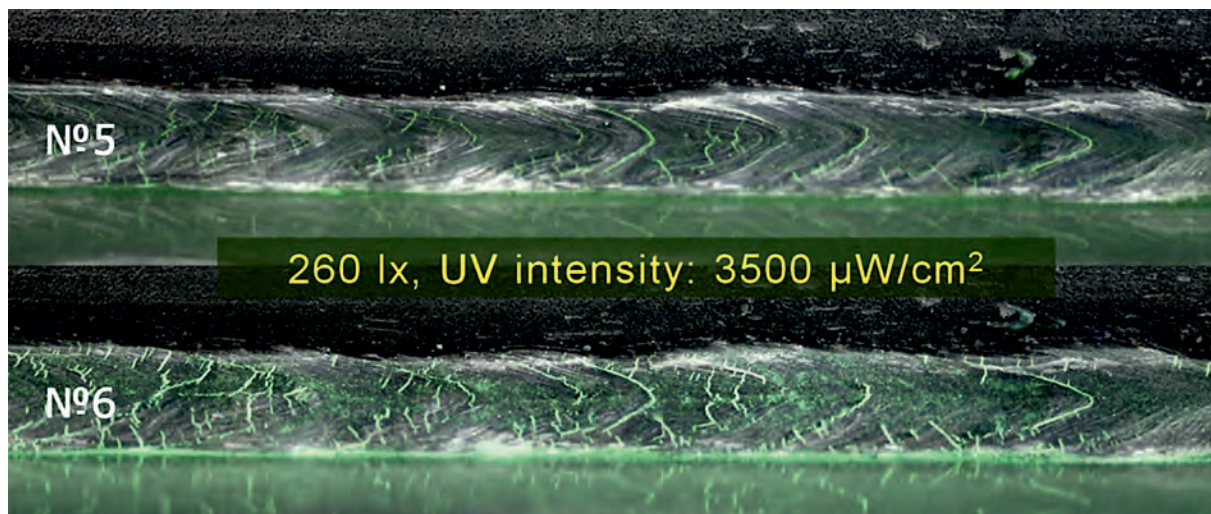


Fig. 5. Indications on fillet welding joint
Rys. 5. Wskazania na spoinie pachwinowej

for the case 260...280 lux of white light intensity, because digital camera with pre-set exposure time could not fix an image with sufficient contrast of indication (however indication had been seen visually).

In contrast to previous test, results on the rough surface illustrate us that highly bright suspension №3 generates much of background and barely can compete with №2 product. In the same time, №4 demonstrates comparable to №2 results, as it leaves less background due to bigger grain size.

Under 30-40 lux of ambient light, optical differences between products equalized.

5. Summary

For cast and forged parts there was the following conclusion compiled, which outline general approach for water-based fluorescent suspensions pre-selection.

Working on smooth surfaces under low and mid-intensive ambient light, makes sense to utilize highly bright products, whereas during parts examination with rough surface, like raw casting, suspensions with moderate fluorescence or

high-fluorescence products but with higher grain size (if allowed) will be advisable. Finally, suspensions with yellow-green color of fluorescence optically recognized better under extremely intensive ambient light conditions.

In contrast to casting or forging parts, customers who examine welding joints, in most cases will benefit from use of highly bright suspensions, as shown Fig.5, where oil-based ready for use suspensions have been tested. Suspension №6 features by higher fluorescence brightness.

Needless to say, that highly bright products worth to apply when the target to limit influence of UV irradiation on personnel is coming into question. In other words, we can achieve the same contrast of indications using highly bright product, but applying less intensive source of UV irradiation.

6. References/Literatura

- [1] EN ISO 3059: 2012, Penetrant testing and magnetic particle testing – Viewing conditions

- 1) Prof. zw. dr inż. dr h.c. Ryszard Sikora, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
- 2) Prof. dr hab. inż. Jerzy Nowacki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
- 3) Dr inż. Przemysław Łopato, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
- 4) Dr Barbara Grochowalska, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
- 5) Mgr inż. Marek Lipnicki, Koli sp. z o.o.
- 6) Dr hab. inż. Jacek Szelażek, prof. IPPT, IPPT PAN
- 7) Dr inż. Michał Kawiak, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
- 8) Dr inż. Grzegorz Psuj, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Tomasz Katkowski*, Mateusz Bańka
Urząd Dozoru Technicznego, Oddział w Gdańsku

Zastosowanie badań nieniszczących w praktyce dozorowej

Application of non-destructive testing in technical inspection

ABSTRACT

Non-destructive testing is applied in industry to detect discontinuities in materials and components which are used for the construction of technical equipment, and to determine its level of destruction. NDT testing, on the basis of applicable standards, support technical supervision since they help both to determine the quality of technical equipment and the current safety level of equipment. One should bear in mind that non-destructive testing serves as an improvement of technical inspection and an assistance in evaluating the equipment condition. Non-destructive testing is not, however, capable of replacing technical inspection as such.

The main purpose of this paper is to identify the limitations and difficulties of NDT testing used to assess the technical condition and safety of equipment. The author shall identify the areas in which one can rely solely on the classic inspection based on internal revisions and pressure testing.

This paper provides an overview of the methodologies used to perform device testing by UDT inspectors based on NDT testing methods, to improve the reliability of technical equipment. The notion of usefulness of non-destructive testing will be analyzed depending on the following factors: the type of tested object, constructional, geometrical and material solutions.

Keywords: irradiance; NDT

STRESZCZENIE

Stosowane w przemyśle badania nieniszczące wykorzystuje się do wykrywania nieciągłości w materiałach i elementach konstrukcyjnych, służących do budowy urządzeń technicznych oraz do określania ich stopnia degradacji. Na podstawie obowiązujących norm, badania te pozwalają zidentyfikować poziom jakości powyższych elementów, wspomagając praktykę dozorową w określeniu stanu technicznego eksploatowanych urządzeń oraz ich aktualnego poziomu bezpieczeństwa. Jednakże, o ile badania nieniszczące mogą stanowić efektywne rozszerzenie praktyki dozorowej i pomoc w ocenie stanu urządzeń, nie są jednak w stanie zastąpić praktyki dozorowej.

Celem niniejszego referatu jest identyfikacja ograniczeń oraz trudności w wykorzystywaniu badań NDT do oceny stanu technicznego oraz poziomu bezpieczeństwa urządzeń objętych dozorem technicznym. Zostaną również zdefiniowane te obszary, w których trudno o alternatywę dla klasycznej inspekcji, opartej o rewizje wewnętrzne oraz próby ciśnieniowe.

Niniejszy referat przybliży metodykę wykonywania badań urządzeń przez inspektorów UDT w oparciu o metody badań NDT w celu podniesienia możliwości rzetelnej oceny stanu urządzeń technicznych. Przeanalizowane zostanie pojęcie przydatności badań nieniszczących w zależności od: rodzaju badanego obiektu, rozwiązań konstrukcyjnych, geometrycznych oraz materiałowych.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące

1. Wstęp

Szeroko rozumiana praktyka dozorowa ma na celu zapewnienie odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa urządzeń technicznych pracujących w przemyśle. Wyzwaniem dla inspektora jest globalne spojrzenie na oceniane urządzenie, jego osprzęt i współpracujące elementy (jeżeli urządzenie stanowi część procesu produkcyjnego/przetwórczego), zlokalizowanie miejsc krytycznych oraz dokonanie oceny ich bezpieczeństwa w dalszej eksploatacji. Miejscami krytycznymi są obszary, które podczas eksploatacji są najbardziej narażone na działanie czynników szkodliwych, tj. temperatury, medium roboczego, mechanizmów takich jak drgania, przepływ strumienia czynnika, etc.

Zdolność do postrzegania problemu w ujęciu globalnym uwarunkowana jest posiadaniem przez inspektora szerokiej wiedzy, zarówno w zakresie procesów zachodzących podczas eksploatacji urządzeń, jak również znajomości materiałów zastosowanych do ich budowy. Wiedza ta winna być uzupełniona o znajomość działania osprzętu zabezpieczającego, ciśnieniowego oraz automatyki zabezpieczającej, często wykorzystywanej w urządzeniach objętych dozorem.

Gdy stan urządzenia budzi wątpliwości, co wynikać może m.in. z ograniczonej możliwości oceny wizualnej, inspektor wykorzystuje badania nieniszczące. W tym celu określa on obszary lub elementy urządzenia, które należy poddać szczegółowym badaniom.

2. Urządzenia z perspektywy inspektora UDT

Wskazuje się na istnienie dwóch przesłanek, determinujących konieczność odpowiednio otwierania lub odstawiania urządzenia. Pierwsza przesłanka to, najogólniej mówiąc, wymagania przepisów. Drugą przesłankę, kluczową z perspektywy niniejszego referatu, stanowią aspekty techniczne, których właściwa weryfikacja umożliwi wiarygodną ocenę stanu urządzenia oraz w konsekwencji – wydanie decyzji odpowiednio zezwalającej lub wstrzymującej dalszą eksploatację urządzenia [1].

Wskazać można wiele przypadków urządzeń, dla których wystarczającym do dokonania oceny jest otwarcie urządzenia oraz dokonanie wyłącznie jego oceny wizualnej. Przykładem są np. zbiorniki całkowicie wypełnione wodą lub zbiorniki paliwowe.

Jednakże, istnieje w przemyśle również szereg innych, złożonych urządzeń, wymagających od inspektora szczególnego

* Autor korespondencyjny. E-mail: Tomasz.Katkowski@udt.gov.pl

podejścia do analizy i wsparcia tej analizy metodami badań nieniszczących. Wśród urządzeń tych wskazuje się między innymi kotły, reaktory czy autoklawy przemysłowe, jak również urządzenia, posiadające bardzo ograniczony dostęp, np. zbiorniki z izolacją próżniową.

Coraz większa wiedza o procesach zachodzących w eksploatowanych urządzeniach, jak również zwiększanie się świadomości inspektorów w zakresie mechanizmów degradacji, przyczyniają się do stopniowego zwracania się w kierunku wykorzystywania metod wspomagających, do których zalicza się badania NDT.

Istnieje wiele sytuacji, w których praktyka dozoru oraz badania nieniszczące mogą się uzupełniać lub zastępować. Przykładem drugiego z wymienionych przypadków są badania zastępcze urządzeń, wykonywane na wniosek eksploatującego, które mają na celu zastąpienie rewizji wewnętrznej lub próby ciśnieniowej, w sposób uzgodniony z UDT [2].

UDT może wyrazić zgodę na wykorzystanie badania zastępczego, jeżeli umożliwi ono faktyczne określenie stanu urządzenia. Na takim rozwiązaniu korzysta wówczas eksploatujący – skraca się czas oraz zmniejszają się koszty związane z przeprowadzeniem czynności inspekcyjnych, przy jednoczesnym zachowaniu wymaganego poziomu bezpieczeństwa. Wynika to przede wszystkim z tego, że badania NDT, w określonych warunkach pracy urządzenia, gdzie czynnikiem najczęściej warunkującym jest temperatura, pozwalają na wykonywanie badań „na ruchu”. Takie rozwiązanie umożliwia ograniczenie kosztów związanych z zatrzymaniem urządzenia i jego ponownym rozruchem. Kluczowym jest brak konieczności skrajnego modyfikowania warunków pracy urządzenia, tj. dużych zmian temperatur, skoków ciśnień, etc., co korzystnie wpływa na utrzymanie dobrej kondycji badanego urządzenia.

Niestety, wskazuje się jednocześnie na istnienie szeregu przypadków, w których badania nieniszczące nie są w stanie dostatecznie przyczynić się do ostatecznej decyzji co do dalszej bezpiecznej eksploatacji urządzenia.

3. Urządzenia z perspektywy badacza NDT

O ile rolę inspektora jest globalne ujęcie i ocena badanego urządzenia, o tyle rolę badacza ogranicza się do badania wybranych, uprzednio zakwalifikowanych elementów/obszarów.

Zadaniem operatora badań nieniszczących jest przedstawienie rzetelnych wyników badań z obszarów wskazanych przez inspektora UDT. Wyniki te, z perspektywy badacza, przekładają się na: zakwalifikowanie badanego elementu do odpowiedniego poziomu jakości lub podjęcie decyzji, czy dany obiekt spełnia wymagania dla poziomu jakości, podanie wyniku (np. UTT), sprawdzenie obszaru na obecność spodziewanego typu defektu/nieciągłości lub zobrazowanie powierzchni, np. poprzez zobrazowanie typu C (C-SCAN) [3]. Uwaga operatora kierowana jest w wyznaczone, stanowiące priorytet miejsce. Miejsca badania nie zawsze stanowią wąski obszar, taki jak np. złącze spawane. Nowoczesne metody NDT pozwalają na skanowanie dużych powierzchni w krótkim czasie. Dzięki takim rozwiązaniom operator może dostarczyć informacji na temat stanu materiału nawet

na całej powierzchni urządzenia/rurociągu. Możliwe jest również zgrubne skanowanie objętości materiału w celu określenia miejsc, którym należy poświęcić szczególną uwagę. Uzyskane informacje poszerzają wiedzę inspektora na temat stanu urządzenia, co powinno ułatwić podjęcie decyzji dotyczącej dalszej eksploatacji urządzenia.

4. Ograniczenia NDT

Punkt wyjścia do analizy ograniczeń NDT stanowi dokonanie podstawowej kategoryzacji tych ograniczeń.

Pierwszą kategorią są ograniczenia ekonomiczne – logistyczne, które nie posiadają bezpośredniego związku z wybraną techniką badania. Do ograniczeń tych zalicza się wszelkie problemy związane z wykonywaniem badania, np. niedostateczne środki sprzętowe czy czasochłonność badania (wynikającą m.in. z konieczności przygotowania powierzchni celem uzyskania rzetelnych rezultatów) oraz występowanie wysokich kosztów wykonania badania przy stosunkowo niskiej wartości samego urządzenia – w rezultacie niejednokrotnie dla użytkownika bardziej opłacalnym okazuje się wymiana urządzenia (i zezłomowanie starego), zamiast wykonania badania.

Drugą, bardziej rozbudowaną kategorię stanowią ograniczenia konstrukcyjne. Ograniczenia te mogą wynikać m.in.: ze skomplikowanej budowy urządzenia (oraz w konsekwencji brak możliwości dostępu), rodzaju wykorzystanego do budowy urządzenia materiału czy też ze stopnia degradacji urządzenia – tj. pokrycie ścian urządzenia osadami, zendrą. Istotne są również ograniczenia wynikające bezpośrednio z konstrukcji urządzeń. Urządzenia pracujące w nieprzyjaznym środowisku (właściwości chemiczne i fizyczne czynnika roboczego) wymagają niejednokrotnie zastosowania różnego rodzaju powłok (ochronnych, izolacyjnych, lakierniczych, metalowych), co może niekorzystnie wpływać na skuteczność zastosowanych metod badań NDT, a nawet wykluczać możliwość ich wykorzystania. Również wielkość urządzenia może wpływać na niemożność zastosowania badań nieniszczących lub znacząco ograniczyć ich skuteczność.

Stosowane w przemyśle rozwiązania konstrukcyjne, ograniczające możliwości diagnostyczne, zarówno podczas wytwarzania, jak i eksploatacji to m.in. złożona geometria, niestandardowe kształty złączy spawanych oraz materiały do budowy urządzeń o strukturze utrudniającej wykonanie badania.

Stosowanie materiałów austenitycznych ogranicza możliwości stosowania badań ultradźwiękowych. Taki przypadek wymaga zastosowania odpowiednich głowic ultradźwiękowych, różniących się od tych stosowanych przy badaniach materiałów ze stali węglowych.

Urządzenia ze stali węglowych pod względem materiału nie wymagają specjalnych środków do badań. Podstawowe ograniczenia to przede wszystkim warunki badania: geometria obiektu, stan powierzchni, temperatura badanego obiektu. Warto zaznaczyć, że w przypadku badań powierzchniowych stali węglowych, zawsze bardziej korzystnym rozwiązaniem będzie wykonanie badania MT niż PT, ze względu na wyższą czułość badania.

5. Przykłady wdrożenia NDT w problematycznych obszarach

5.1 Izolacja urządzenia

Stosowanie zewnętrznej izolacji wymusza prowadzenie oględzin powierzchni ścianki od wewnątrz, przy jednoczesnej konieczności uwzględnienia ograniczeń wynikających z konstrukcji urządzenia (występowanie włazu) oraz weryfikacji możliwości odstawienia urządzenia. Ostatni aspekt jest szczególnie ważny w przypadku urządzeń pracujących przy wysokich parametrach (wysoka temperatura i ciśnienie pracy). Każdorazowe obniżenie i ponowne osiągnięcie wysokich parametrów pracy wpływa niekorzystnie na kondycję urządzenia.

Jeżeli konstrukcja urządzenia nie przewiduje możliwości przeprowadzenia badania od wewnątrz, pomocne stają się badania nieniszczące, które pozwalają na ocenę stanu materiału i złączy spawanych po rozizolowaniu całości lub fragmentów izolacji. Podstawowe ograniczenia to ograniczenia sprzętowe, związane najczęściej z temperaturą pracy urządzenia oraz stanem powierzchni badania. Dodatkowo należy mieć na uwadze, że brak możliwości dostępu do wnętrza urządzenia może uniemożliwić zastosowanie RT. Ograniczenia te, jeżeli wystąpią, mogą uniemożliwić zastosowanie NDT.

5.2 Występowanie powłok ochronnych

Powłoki ochronne, stosowane wewnątrz, jak i na zewnątrz urządzeń, wymagają oględzin wizualnych bezpośrednich. Zastosowanie badań NDT na powierzchniach pokrytych powłokami ochronnymi jest możliwe – z zaznaczeniem, że czułość badań wykonywanych przez powłokę jest ograniczona i uzależniona od rodzaju oraz grubości powłoki. Badania nieniszczące umożliwiają kontrolę przylegania warstw (cladding) do materiału podstawowego – jednak jest to stosunkowo trudne badanie.

5.3 Kształty złączy

Złącza doczołowe w większości przypadków nie stwarzają problemów podczas diagnostyki. W szczególnych przypadkach (połączenia różnoimienne lub połączenia materiałów o różnej grubości) wymagają wiedzy umożliwiającej prawidłowy dobór badań oraz ich techniki.

W większości przypadków złącza teowe mocno ograniczają możliwości stosowania badań objętościowych. Badania ultradźwiękowe mogą być wykonane w pojedynczych przypadkach (przy odpowiedniej wielkości elementu). W przypadku badań RT nie zawsze istnieje fizyczna możliwość ich zastosowania (przyłożenie błony po wewnętrznej stronie ścianki), a niewygodny kształt badanego złącza może spowodować, że badanie stanie się nieopłacalne i dostarczy wyniki trudne w interpretacji.

Wykonanie badań NDT, które nie da miarodajnych wyników to z perspektywy eksploatującego nieefektywne wykorzystanie środków finansowych. Powszechnym zjawiskiem jest wykonywanie dużej ilości badań o niskiej efektywności, wynikającej z pomijania wcześniejszej analizy mechanizmów występujących w badanych obiektach. Przykład stanowią pomiary grubości: pomiar małej ilości punktów w stosunku do całkowitej powierzchni badanego obiektu stwarza ryzyko uzyskania błędnej oceny końcowej obiektu. W konsekwencji badający koncentruje się wyłącznie na wyniku w ujęciu ilościowym, a nie jakościowym. Pozytywnym wynikiem współpracy inspekcji z badaniami NDT jest system stałego monitoringu w postaci cyklicznie wykonywanych pomiarów i badań w konkretnych, uznanych za reprezentatywne lokalizacjach.

6. Podsumowanie

Dzisiejszy przemysł stwarza zapotrzebowanie na metody przesiewowe, które pozwolą na ocenę stanu technicznego urządzenia, przy jednoczesnym spełnieniu dwóch warunków:

- zapewnienia prawidłowego przebiegu procesów (jak najradsze odstawianie urządzeń),
- zachowania wymaganego poziomu bezpieczeństwa poprzez zastosowanie badań o wysokiej efektywności.

W niniejszym artykule podjęto się obrony tezy, zgodnie z którą nie jest możliwe całkowite zastąpienie praktyki dozorowej badaniami NDT – badania te mogą jednak stanowić jej uzupełnienie.

W środowisku inspektorów UDT zaczyna funkcjonować nowe podejście, zgodnie z którym posiadanie wiedzy z zakresu NDT stwarza możliwość uzupełniania badań w celu pogłębienia stopnia analizy stanu technicznego urządzenia. Kierunek rozszerzenia diagnostyki nie ogranicza się jednak wyłącznie do badań NDT, należy wziąć również pod uwagę badania materiałowe, tj. repliki – zaliczane do metod wizualnych oraz klasyfikowane jako badania pośrednie między NDT a DT, badanie twardości HT. Wspomniane w pracy techniki badań nie zastąpią inspektora, kluczowym jest jednak umiejętne wykorzystanie narzędzia, jakim są badania nieniszczące, w rękach tych inspektorów, którzy wybierają globalne podejście w ocenie urządzenia.

7. Literatura/References

- [1] Ustawa z dnia 21 grudnia 2000 r. o dozorcze technicznym, (Dz. U. z 2000 r. Nr 122, poz. 1321)
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 9 lipca 2003 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego w zakresie eksploatacji niektórych urządzeń ciśnieniowych, Rozdział 1 - 2, (Dz. U. z 2003 r. Nr 135, poz. 1269)
- [3] "C-Scan Mapping | Olympus IMS", Olympus-ims.com, 2017. [Online]. Available: <http://www.olympus-ims.com/pl/ndt-tutorials/instrumentation/cscan>. [Accessed: 09- Oct- 2017]

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. Dostatecznej jakości, pełnoekranowy obraz z możliwością pomiaru w dowolnym momencie, bez konieczności wymiany obiektów, 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.

Podejmij 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 uszkodzenia 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 zapalowania 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 wżerów 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



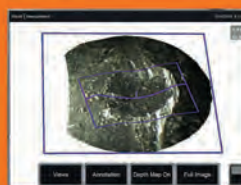
Profil głębokości

- Głębokość ubytków korozyjnych lub zagłębienia erozyjnych
- Głębokość uszkodzeń z powodu FOD
- Wysokość spoiny lub głębokość rys, rąbków, 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



Roman Martyna^{1*}, Maciej Martyna²

¹Laboratorium LRM Dr. Roman Martyna, Szczeglice

²Maciej Martyna Laboratorium LRM-NDE, Zabierzów

Polska technologia badania lin stalowych najpoważniejszych urządzeń linowych na świecie

Polish technology for testing wire ropes of the largest rope devices in the world

ABSTRACT

2016 was an anniversary year - 70 years since AGH professors L. Szklarski, M. Jeżewski, Z. Kawecki and J. Stachurski started developing the Polish method of Magnetic Flux Leakage techniques (MFL) testing steel-wire ropes. This year also marks 40 years of personal contribution of Roman Martyna in the area of the development of Magnetic Rope Testing (MRT). The latest advances in electronics and information technology has been implemented to LRM-NDE steel wire rope technology, which has led to the innovative LRM*XXI Rope Diagnostic System being utilized by numerous national and international evaluation experts. In this paper the wire-rope testing requirements under different conditions as well the advancement of the proposed system are presented. The outworked hardware and software solutions improves the possibility and accuracy of proposed MRT method of testing steel ropes. The software gives users the new possibility to proceed rapid analysis and present test results, which are shown on the computer screen in real time. Finally the inspection of various large constructions is presented and discussed.

Keywords: NDT NDE cable bridge; NDT NDE lift rope

STRESZCZENIE

W 2016 roku minęło 70 lat od rozpoczęcia w Polsce prac przez profesorów AGH L. Szklarskiego, M. Jerzewskiego, Z. Kaweckiego, a następnie J. Stachurskiego nad zastosowaniem metody magnetycznej pola rozproszenia MFL (Magnetic Flux Leakage) do badania lin stalowych. Również w tym roku minęło 40 lat pracy Romana Martyny nad rozwojem metody MRT (Magnetic Rope Testing).

Młode pokolenie implementowało do technologii LRM-NDE badania lin stalowych najnowsze osiągnięcia elektroniki i informatyki. W niniejszym artykule przedstawiono wymagania stawiane w badaniu lin stalowych w różnych warunkach, a także na zaawansowanie proponowanego systemu. Udoskonalone rozwiązania sprzętowe i programowe systemu LRM*XXI umożliwiły zwiększenie skuteczności i dokładność metody MRT badania lin stalowych, obrazowanie badania w czasie rzeczywistym na ekranie komputera, porównanie wyników kolejnych badań oraz możliwości analizy i prezentacji wyników badań.

Słowa kluczowe: NDE liny mostów; NDE liny dźwigów

1. Wstęp

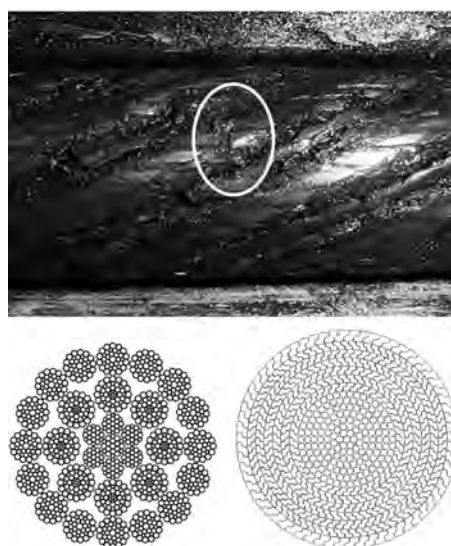
Uszkodzenie lin stalowych aktualnie dominujących konstrukcji są trudniejsze do wykrycia i pomiaru wartości niż we wcześniej stosowanych konstrukcjach. Średnice aktualnie stosowanych lin dużych urządzeń dźwigowych znacząco wzrosły. Liny o dużych średnicach i niskiej odkrętności mają wiele spletek i nieraz ponad 1000 drutów. W takich linach szczeliny między końcami złamanych drutów są bardzo małe szczególnie w linach kompaktowanych.

W linach kompaktowych pierwsze złamane druty występują po dłuższym okresie eksploatacji, ale bardzo szybko ich ilość narasta. Uszkodzenia kumulują się we wnętrzu liny. Dużym wyzwaniem dla badających jest też wewnętrzna korozja i tarcia na styku warstw spletek lin o przeciwnym zwinięciu.

Aktualnie obowiązujące kryteria odkładania lin urządzeń dźwigowych według normy ISO EN-4309 bazują na wizualnym liczeniu ilości pękniętych zewnętrznych drutów. Te kryteria są całkowicie nieakceptowalne dla lin nowych konstrukcji o dużych średnicach, w których zewnętrzne druty stanowią tylko kilkanaście procent wszystkich drutów.

Nowa wersja normy ISO EN-4309 włącza metodę magnetyczną badania lin MRT do ewaluacji osłabienia lin dźwigowych. Rysunek 2 prezentuje przesłaną przez autora

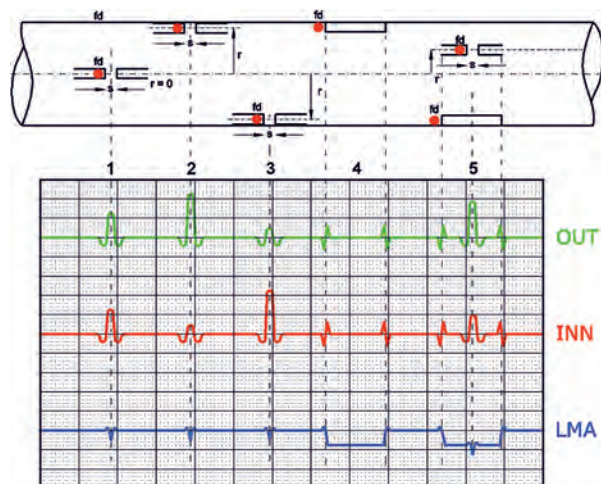
do komitetu normalizacyjnego ISO [4] propozycję definicji typowych uszkodzeń mierzonych metodą MRT do implementacji w aktualizowanej wersji tej normy.



Rys. 1. Złamany drut w linie kompaktowanej i współczesne konstrukcje lin stalowych

Fig. 1. A broken wire in a compact wire rope and current construction of steel wire ropes

* Autor korespondencyjny. E-mail: lrm@lrm-nde.com



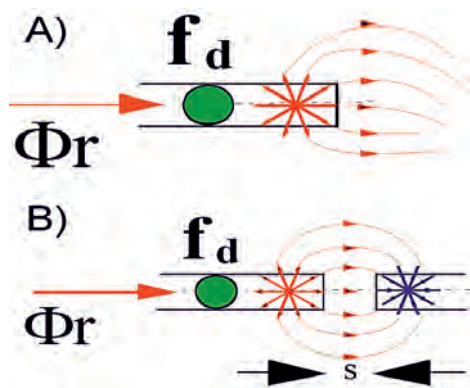
Rys. 2. Wyniki badania MRT typowych uszkodzeń lin stalowych: 1. Wewnętrzne lokalne uszkodzenie (LF); 2,3. Zewnętrzne lokalne uszkodzenie (LF); 4. Długa zmiana przekroju ferromagnetycznego (LMA); 5. Zagregowane uszkodzenie (AF) (LMA plus LF). Opis: Przebieg sygnału LF z czujnika zewnętrznego OUT; Przebieg sygnału LF z czujnika wewnętrznego INN; Przebieg sygnału LMA z czujnika LMA; f_d – lokalne zmniejszenie przekroju metalicznego; s – długość szczeliny złamanego drutu; r – mimośrodek położenia uszkodzenia

Fig. 2. Shapes of typical MRT fault signals: 1. Internal Local Fault (LF); 2,3. External Local Faults (LF); 4. Loss of Metallic Area fault (LMA); 5. Aggregate Fault (AF) (LMA plus LF). Description: Shape of signals from LF OUTER LF Sensor; Shape of signals from LF INNER LF Sensor; Shape of signals from LMA Sensor; f_d - Local decrease of tested rope metallic cross section area; s - length of gap between wire ends; r - eccentricity of damage location

2. Podstawy metody MRT (Magnetic Rope Testing) badania lin stalowych

2.1 Pomiar lokalnych uszkodzeń lin LF (Local Fault)

Pomiar dotyczy przypadków 1; 2; 3 przedstawionych na rysunku 2. np. złamanych drutów liny.



Rys. 3. Biegunowy model fizyczny: A) Przy końcu drutu; B) Nad złamanym drutem

Fig. 3. Physical "pole model": A) Over end wire; B) Over broken wire

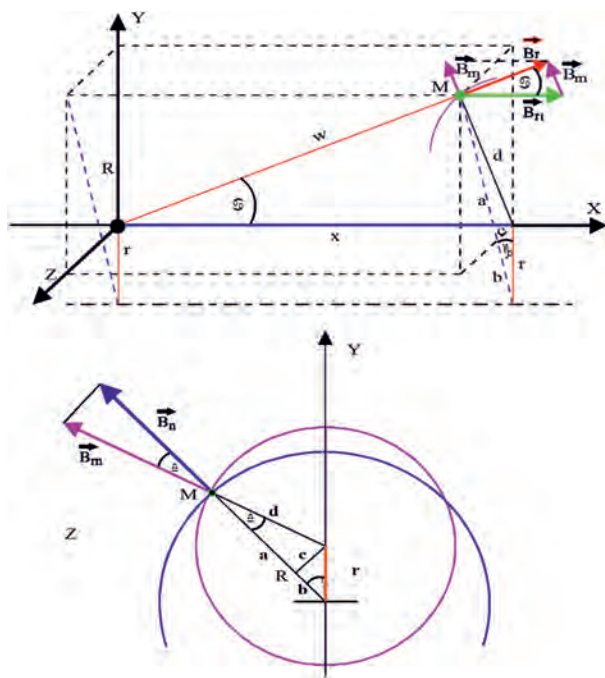
Twórcy polskiej metody badania lin [1] przyjęli biegunowy model powstawania pola magnetycznego rozproszenia nad lokalnymi uszkodzeniami liny, jak na rysunku rys. 3.

Ten „biegunowy” model fizyczny zakłada, że z „bieguna” emitowany jest strumień magnetyczny rozproszenia Φ_r . Przyjęcie biegunowego modelu fizycznego nie narusza

zasady bezźródłowości pola magnetycznego, gdyż strumień Φ_r jest równy strumieniowi wpływającemu do złamanego drutu (1).

$$\Phi_r = B_l \cdot f_d \quad (1)$$

Przyjęcie biegunowego modelu pola magnetycznego rozproszenia jest przydatne do matematycznego opisu zjawiska. Autor w pracach [2 i 3] przedstawił efektywny model magnetyczny pozwalający wyznaczyć wartość składowej normalnej i stycznej pola magnetycznego rozproszenia w dowolnym miejscu nad dowolnie położonym uszkodzeniem w lince. Wartości składowych można wyliczyć ze wzorów (2) i (3).



Rys. 4. Składowe pola magnetycznego rozproszenia w dowolnym punkcie M w odległości "w" od uszkodzenia oddalonego o "r" od osi liny

Fig. 4. Components of a dissipated magnetic field at any location M at the distance "w" the rope damage at "r" from the rope axis

$$B_n = \frac{B_l}{4\pi} \cdot F_u \cdot \frac{R-r \cdot \cos \gamma}{\sqrt{(R-r \cdot \cos \gamma)^2 + (r \cdot \sin \gamma)^2 + x^2}} \quad (2)$$

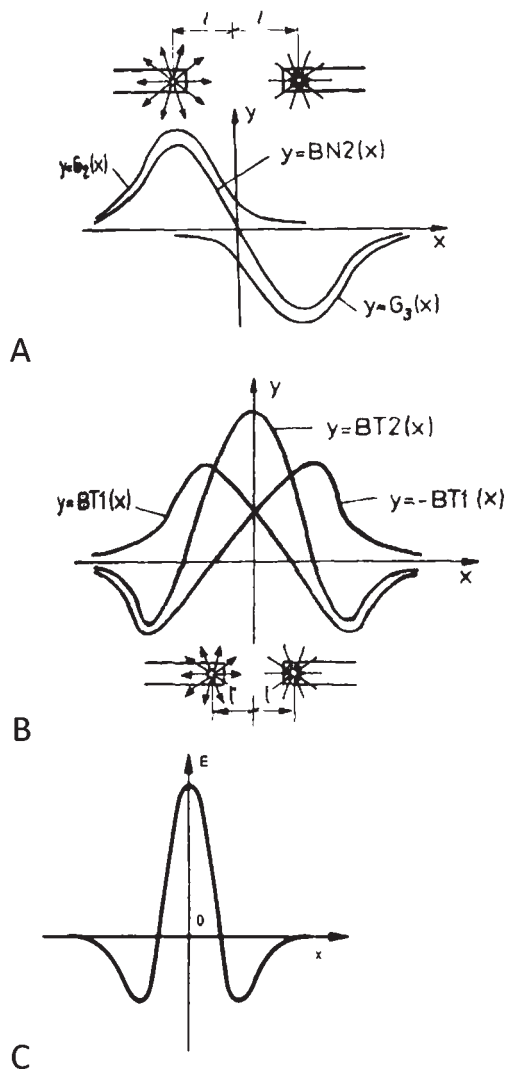
$$B_t = \frac{B_l}{4\pi} \cdot F_u \cdot \frac{x}{\sqrt{(R-r \cdot \cos \gamma)^2 + (r \cdot \sin \gamma)^2 + x^2}} \quad (3)$$

Pole magnetyczne rozproszenia nad złamanym drutem można wyznaczyć przez superpozycję, translację i symetrię względem osi wartości składowych wyliczonych ze wzorów (2) i (3).

Powyższe rozważania teoretyczne zostały pozytywnie zweryfikowane przez Uniwersytet Reading UK i Stuttgart Niemcy. Pozwala to na optymalizację czujników do realizacji metody MRT badania lin stalowych [6].

2.2 Pomiar długich zmian przekroju liny LMA (Loss of Metallic Area)

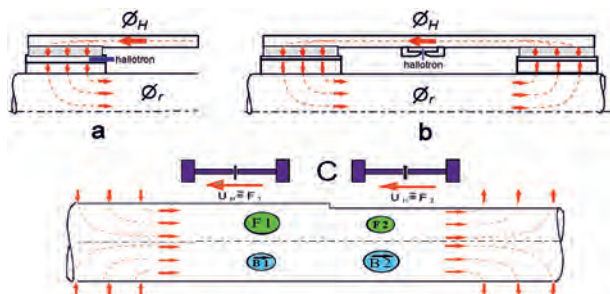
Pomiar dotyczy przypadku 4 przedstawionego na rysunku 2. np. korozja, starcia i braki drutów liny.



Rys. 5. Pole magnetyczne nad złamanym drutem: A) Składowa normalna BN2; B) Składowa styczna BT2. C) Typowy sygnał od złamanego drutu

Fig. 5. The field of the magnetic poles of a wire break: A) The normal component BN2; B) The tangent component BT2. C) Typical shapes for broken wire

Metoda pomiaru długich zmian przekroju ferromagnetycznego liny „LMA” bazuje na pomiarze pola magnetycznego w głównym obwodzie magnetycznym głowicy pomiarowej.



Rys. 6. Pomiar długich zmian przekroju liny bazujący na pomiarze pomiaru strumienia magnetycznego w głowicy pomiarowej

Fig. 6. Examination of long damages of a rope based on measurement of magnetic flux flowing through the magnetic circumference of a head

Pierwsza polska publikacja dotycząca czujników LMA do badania lin była przedstawiona w 1979 roku przez autora na 9 KKBN we Fromborku [5].

Zmiany reluktancji obwodu magnetycznego spowodowane zmianami przekroju ferromagnetycznego liny są przetwarzane przez przetworniki Halla na sygnały diagnostyczne mierzące zmiany przekroju liny. Implantowanie do magnetycznych głowic pomiarowych z czujnikami LF, czujników LMA [5] dało ekspertom pełne narzędzie do realizacji metody MRT badania lin stalowych.

2.3 Zagregowane uszkodzenia lin AF (Aggregate Fault) LMA plus LF

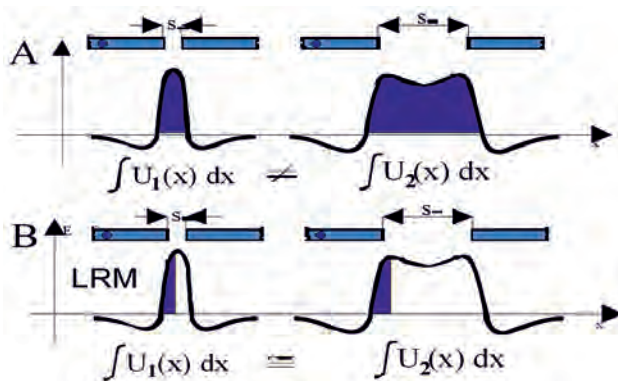
Pomiar dotyczy przypadku 5 przedstawionego na rysunku 3., np. złamany drut na skorodowanym odcinku liny.

W czasie realnych badań lin najczęściej mamy do czynienia z uszkodzeniami typu AF. Lokalne uszkodzenia lin LF (złamane druty) występują na odcinkach z równomierną korozją (LMA) i starciami drutów zewnętrznych, jak również wewnętrznych liny.

Wyliczone osłabienie liny jest sumą uszkodzeń LF plus LMA.

2.4 Pomiar zagęszczonych uszkodzeń lin (kumulacja uszkodzeń na odcinku sumowania)

Kryteria akceptacji uszkodzeń lin [7] dotyczą wartości uszkodzeń lokalnych na odcinku 6d (6 średnic liny) oraz sumy wartości uszkodzeń na odcinku 30d (30 średnic liny). O przydatności do dalszej eksploatacji decyduje odcinek 6d lub 30d ze skumulowanymi zagęszczonymi uszkodzeniami. Pomiar zagęszczonych uszkodzeń liny jest największym wyzwaniem dla konstruktorów aparatury i ekspertów badających liny metodą MRT. Stosowany w kraju i na świecie System Diagnostyczny LRM[®]XXI posiada układ integracji uszkodzeń na odcinku 30d.

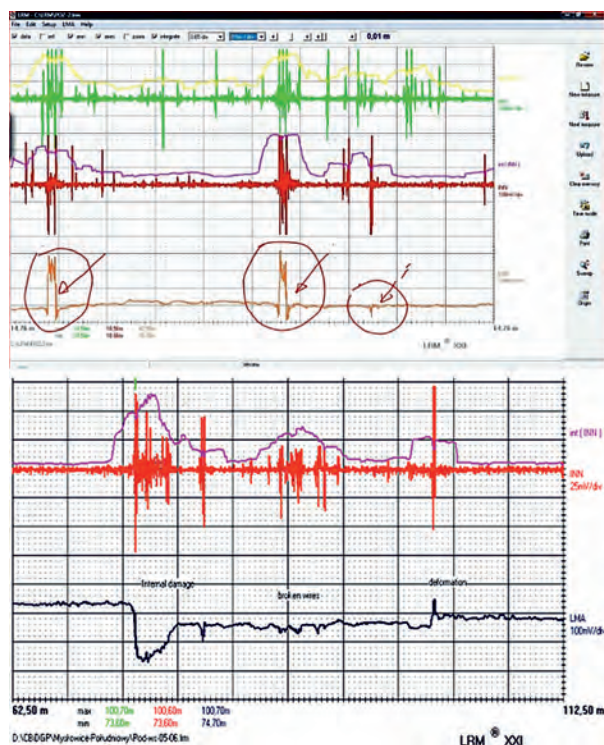


Rys. 7. Porównanie wartości całki sygnałów od jednego złamanego drutu, ale o różnych szczelinach między końcami złomu: a. dotychczasowa metoda integracji, b. integracja sygnałów nową LRM metodą

Fig. 7. Comparison of values of signals integrated from damages of the same section f but with different s : a. traditional integration method, b. integration with LRM method

Osłabienie liny spowodowane oboma uszkodzeniami jest takie samo – jeden złamany drut. Nowy LRM sposób integracji sygnałów LF w znacznym stopniu poprawia

dokładność pomiaru wartości uszkodzeń liny. Zaczyna się integrację przy przejściu impulsu przez zero, a kończy przy osiągnięciu maksimum amplitudy impulsu.



Rys. 8. Aktualny stan metody MRT badania liny z zagęszczonymi uszkodzeniami

Fig. 8. The current state of the MRT method in determining density of wire rope damage

Uszkodzenia leżące blisko siebie powodują superpozycję rozproszonych pól magnetycznych MFL. Zagregowane impulsy nie są tak czytelne jak impulsy od pojedynczych odosobnionych uszkodzeń. Również wartość pomiaru zagęszczonych zagregowanych uszkodzeń jest mniejsza niż suma pojedynczych uszkodzeń.

3. Polska technika i technologia badania lin mostów

Mosty linowe cieszą się coraz większą popularnością na świecie i w Polsce. Mosty linowe są tańsze i prostsze w budowie – są budowane jako największe konstrukcje mostowe. Występują dwa podstawowe typy mostów linowych. Mosty wiszące (rys. 9) i mosty podwieszane (wantowe) (rys. 11). Polska technologia LRM badania lin stosowana jest do wszystkich lin mostowych.

Głównym problemem do rozwiązania było znalezienie odcinków lin gdzie zaczęła się korozja drutów lin już po siedmiu latach eksploatacji mostu na rzece Perłowej w Guangzhou (Kanton). Przyczyną korozji lin były kwaśne deszcze w tych okolicach. Woda wnika do lin u góry w miejscach uszkodzenia powłoki ochronnej penetruje linę i na dole w miejscu osłabienia powłoki ochronnej wypływa na zewnątrz liny. W tym miejscu występuje degradacja powłoki cynkowej drutów i rozwój korozji. Chińska i rosyjska technologia badania tych lin nie dała zadowalających użytkownika wyników. Aparatura i technologia LRM pozwoliły na znalezienie

odcinków, gdzie zmierzona korozja zmniejszyła przekrój lin tylko o 0,4% przekroju metalicznego, pozwalało to na przewidywanie procesów korozyjnych 1000 lin mostu.

Mosty wiszące mogą mieć stalową konstrukcję nośną. Takie mosty dominują w USA.



Rys. 9. Technologia LRM badania lin mostu wiszącego Tiger Bridge w Chinach

Fig. 9. LRM technology testing rope suspension Tiger Bridge in China



Rys. 10. Technologia LRM badania lin mostu wiszącego z konstrukcją stalową na rzece Connecticut

Fig. 10. LRM technology testing suspension ropes with a steel structure on the Connecticut River USA

Największe mosty linowe na świecie mają konstrukcję podwieszaną (wantową). Platforma mostu podwieszana jest do pylonów za pomocą lin o dużych średnicach (ponad 100mm), zwykle konstrukcji zamkniętej. Liny pokryte są powłokami ochronnymi, gdyż konstrukcje te przeznaczone są na kilkadziesiąt lat eksploatacji. Z uwagi na występujące pęknięcia zmęczenie drutów i możliwość korozji liny te bada się okresowo.



Rys. 11. Technologia LRM badania lin mostów podwieszanych w Niemczech

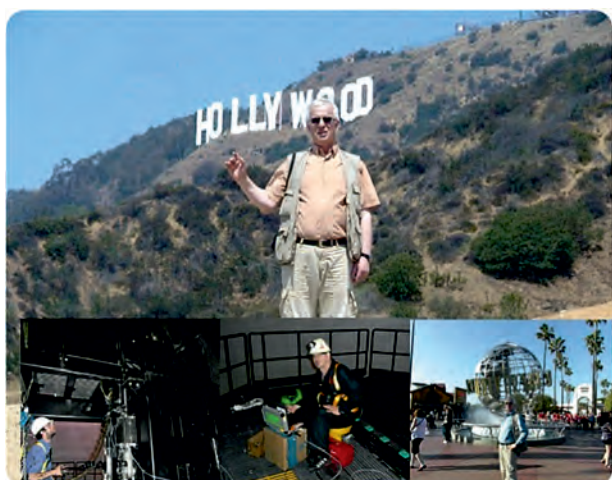
Fig. 11. LRM technology testing Cable-stayed ropes in Germany

System diagnostyczny LRM*XXI wykorzystywany jest do badania lin po awariach urządzeń linowych.



Rys. 12. Badanie stanu lin Stadionu Śląskiego po awarii w czasie podnoszenia dachu

Fig. 12. Testing of roof ropes of the Silesian Stadium after failure during lifting of the roof



Rys. 13. Badanie lin po awarii urządzenia Transformers w Hollywood USA

Fig. 13. Testing ropes after the failure of the 'Transformers' equipment in Hollywood USA

Badania magnetyczne stanu technicznego lin urządzeń linowych ma zasadnicze znaczenie dla bezpieczeństwa transportowanych ludzi (Rys. 14).



Rys. 14. Technologia LRM badania lin podnoszących ludzi

Fig. 14. LRM technology testing ropes lifting people

4. Badanie lin polską technologią lrm na morzach i oceanach

Liny dźwigów pływających pracują w ciężkich warunkach morskich: słona woda, wysokie ciśnienie wypychające smar, spowodowane głębokością ciągnięcia (nawet kilka kilometrów), swobodnie wiszący podnoszony lub opuszczany ciężar, niski współczynnik bezpieczeństwa. To wszystko wymaga specjalnej konstrukcji (nieodkretności) lin o dużych średnicach i najwyższej jakości ich wykonania.



Rys. 15. Dźwig pływający 7 ARCTIC wyposażony w System Diagnostyczny LRM*XXI do badania lin o średnicach 106 i 136mm

Fig. 15. 7 ARCTIC Ship Crane equipped with LRM*XXI Diagnostic System for testing 106 and 136mm diameter rope

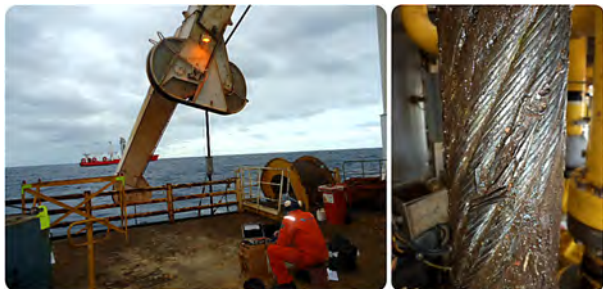


Rys. 16. Technologia LRM badania lin dużych urządzeń morskich

Fig. 16. LRM technology testing ropes for large marine installations

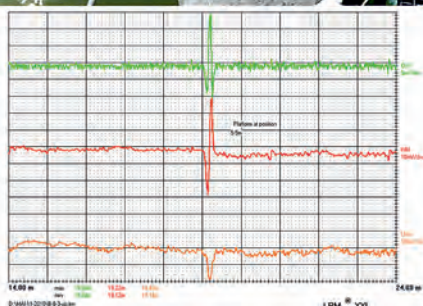
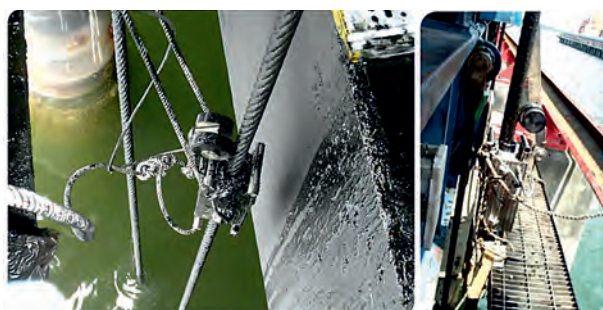
Badania magnetyczne MRT [8] tych lin mają zasadnicze znaczenie dla bezpieczeństwa i niezawodności oraz ekonomii pracy urządzeń dźwigowych. Zbyt późne odkładanie

tych lin grozi katastrofą, zbyt wczesne odkładanie – generuje straty ekonomiczne, gdyż takie liny są bardzo drogie (rzędu miliona euro). Polski system diagnostyczny LRM*XXI jest używany do badań MRT lin największych dźwigów pływających na świecie.



Rys. 17. Badania technologią LRM lin o dużej średnicy w Brazylii

Fig. 17. LRM technology testing large diameter ropes in Brazil



Rys. 18. Badanie technologią LRM lin platform podnoszących statki

Fig. 18. LRM technology for ship lift rope testing

5. Podsumowanie

Metoda MFL badania lin jest najlepszą i jedyną metodą nadającą się do badań diagnostycznych rzeczywistego osłabienia eksploatowanych lin.

Zastosowanie technologii LRM poprawia dokładność wyznaczania osłabienia lin z badań magnetycznych zagęszczonych uszkodzeń.

Poziom wiedzy o magnetycznej metodzie badania lin (MRT) ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo i niezawodność pracy urządzeń linowych.



Rys. 19. Technologia LRM badania lin dźwigów rozbudowujących lotnisko Changi w Singapurze

Fig. 19. LRM technology for testing the crane ropes used to expand Changi Airport in Singapore.

6. Literatura/References

- [1] Z. Kawecki, J. Stachurski, Defektoskopia magnetyczna lin stalowych. Katowice: "Śląsk", 1969.
- [2] R. Martyna, "Determination of steel ropes weakening with an application of a magnetic method and a digital defectoscope", Ph.D. dissertation, AGH, Kraków, 1980.
- [3] R. Martyna, "A Mathematical Model of the transformation of a Rope Defect into a Magnetic Stray Field", in Proceedings of the OIPEEC Round Table Conference on How Safe Is a Rope, Kraków, June, 1981.
- [4] R. Martyna, My suggestions for draft ISO 4309 standard. From 2015-11-15
- [5] R. Martyna, M. Martyna, "Polska technologia stosowana w badaniach magnetycznych lin i rur stalowych na świecie", Instytut Techniki Górniczej Komag, Gliwice, 2013.
- [6] R. Martyna, M. Martyna, "Czujnik kompaktowy defektografu magnetycznego", Patent RP Nr. PL223917 B1, 30 Nov 2016.
- [7] ISO 4309, Cranes – Wire ropes – Care and maintenance, inspection and discard
- [8] R. Martyna, M. Martyna, "LRM*XXI Diagnostic System ready for continuous monitoring high value subsea construction ropes", in IMCA Rope Forum, Amsterdam, 2015.
- [9] C. Bonetti, R. Martyna, M. Martyna, "The new frontier of NDE using a combination of MRT, 3D Measurement and Vision System", in OIPEEC Conference 2017 "Rope – Present and Future", La Rochelle, France, April 4-7, 2017.

Krzysztof Schabowicz^{1*}, Tomasz Gorzelańczyk¹, Rafał Budzisz², Maciej Roskosz³, Janusz Juraszek⁴

¹Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Wrocław

²Doosan Babcock Energy Polska S.A., Rybnik

³Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

⁴Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Nieniszczące badania struktury materiałów włóknisto-cementowych z użyciem mikroskopii optycznej stosowanej w metalografii

Non-destructive tests of fibre-cement materials structure with the use of optical microscopy used in metallography

ABSTRACT

The article presents the proposal for the application of non-destructive microscope method with the use of optical microscopy used in metallography. Four types of fibrous-cement fibreboards were subjected to freeze-thawing, gas torch burning for 15 minutes, placed in a heat chamber at 230°C for 3 hours, and also untreated. Interesting results have been obtained, which have allowed us to observe the changes taking place in the microstructure of the plates under investigation due to the processes mentioned.

Keywords: non-destructive testing, fiber-cement board, metallographic microscope

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono propozycję zastosowania do badania płyt włóknisto-cementowych nieniszczącą metodę mikroskopową z wykorzystaniem mikroskopii optycznej stosowanej w metalografii. Badaniom poddano 4 rodzaje płyt włóknisto-cementowych poddanych procesowi zamrażania-rozmrażania, podpalania palnikiem gazowym przez 15 minut, umieszczonej w komorze cieplnej w temperaturze 230°C przez 3 godziny, a także takiej, która nie została poddana obróbce termicznej ani działaniu wody. Otrzymano interesujące rezultaty badań, które pozwoliły zaobserwować zmiany zachodzące w mikrostrukturze badanych płyt pod wpływem wymienionych procesów.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące, płyty włóknisto-cementowe, mikroskopia metalograficzna

1. Wprowadzenie

Włókno-cement do produkcji wyrobów budowlanych zaczęto stosować w budownictwie na początku XX w. Pomysłodawcą ich był czeski inżynier Ludwig Hatschek, który w roku 1900 opracował i opatentował technologię produkcji płyty azbestowo-cementowej, którą nazwał eternitem. Płyta ta charakteryzowała się wyjątkową lekkością, wytrzymałością, trwałością oraz była niepalna. Sprawilo to, że płyta ta stała się jednym z najbardziej popularnych pokryć dachowych na świecie w XX w. Było tak do momentu, kiedy jednoznacznie stwierdzono, że azbest ma właściwości rakotwórcze. W efekcie zaprzestano ich produkcji oraz stopniowo zaczęto wycofywać z użytkowania wyroby, natomiast niebezpieczny dla zdrowia składnik zastąpiono bezpiecznymi włóknami. Odwrót zapoczątkowano na świecie w latach 70-tych ubiegłego wieku, a w Polsce z końcem lat 80-tych [1, 2]. Do dnia dzisiejszego używa się określenia, że proces produkcji płyt włóknisto-cementowych następuje w tzw. procesie Hatscheka, który polega na zastosowaniu maszyn odwadniających z sitem bębnowym. W tym procesie, pulpę

wytworzoną z zawartej w zbiorniku rozcieńczonej zawiesiny zrafinowanych włókien celulozowych i polipropylenowych oraz cementu przenosi się na taśmę z filcu z zastosowaniem bębnowej maszyny odwadniającej. Następnie nawija się ją przy użyciu bębna formującego do określonej grubości. W celu wytworzenia płyt, arkusz włóknisto-cementowy uformowany na bębnie formującym tną się i usuwa z bębna po osiągnięciu określonej grubości, długości i szerokości. W kolejnym etapie arkusz ten formuje się i utwardza między naoliwionymi płytami metalowymi specjalnie przygotowanymi na drodze obróbki plastycznej. Ostatnim etapem jest „dojrzewanie” płyty w zależności od technologii od 14 do 28 dni, w trakcie którego zachodzą między innymi reakcje egzotermiczne i hydratacja cementu oraz odparowanie wody.

Współczesne płyty włóknisto-cementowe produkowane są z naturalnych surowców, takich jak cement, włókna celulozowe i polialkoholu winylowego (PVA) oraz woda. Znaczną część mieszanki produkcyjnej stanowi cement odpowiedzialny za wiązanie materiału i jego ostateczną trwałość. Celuloza z kolei stanowi wypełniacz szczelin i jednocześnie jest dodatkiem zapewniającym odpowiednią ilość wody w procesie wiązania cementu. Natomiast włókna

* Autor korespondencyjny. E-mail: krzysztof.schabowicz@pwr.edu.pl

z (PVA) stosuje się do zbrojenia materiału oraz nadania mu odpowiedniej wytrzymałości. W celu zoptymalizowania właściwości oraz do przyspieszenia procesu wiązania dodawane są wypełniacze neutralne, takie jak np. wapień lub mika.

Materiały produkowane z włókno-cementu są powszechnie stosowane w budownictwie jako materiał budowlany i wykończeniowy dla dachów, elewacji oraz ścian wewnętrznych [1, 2, 6-8]. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe realizacje budynków użyteczności publicznej, w których zastosowano elewacje wykonane z płyt włókno-cementowych.



Rys. 1. Widok przykładowych elewacji wykonanych z wykorzystaniem płyt włókno-cementowych na budynkach użyteczności publicznej

Fig. 1. Facade with fiber-cement boards, examples of implementation and civil building

Z uwagi na to, że materiały włókno-cementowe obecnie coraz częściej są stosowane w budownictwie, stąd też narażone są na działanie nie tylko różnych warunków środowiskowych (zmiany temperatury, opady deszczu itp.), ale też narażone są na warunki wyjątkowe, do których należy wysoka temperatura wywołana np. działaniem ognia. Jednocześnie istotne jest rozróżnienie wad powstałych w procesie produkcji i uszkodzeń powstałych na skutek eksploatacji. Ważne jest, w jaki sposób obie te grupy stwierdzonych nieprawidłowości wpływają na założoną funkcjonalność i trwałość badanych płyt.

Dlatego też, istnieje potrzeba prowadzenia badań takich materiałów uwzględniających czynniki, na które będą narażone podczas eksploatacji. Badania takie powinny dać możliwość kontroli mikrostruktury danego materiału, co umożliwia między innymi mikroskopia optyczna. Należy zaznaczyć, że dotychczas większość badań materiałów wykonanych z włókno-cementu ograniczała się tylko do określania normowych parametrów fizyko-mechanicznych [3, 6]. W literaturze spotkać można także rezultaty badań

wykonanych z wykorzystaniem metod nieniszczących, między innymi metody ultradźwiękowej i metody emisji akustycznej [4, 5, 9].

Nowoczesne metody mikroskopowe, zintegrowane z innymi technikami badawczymi, stosowanymi w odniesieniu do materiałów budowlanych umożliwiają udzielenie odpowiedzi na pytania dotyczące mechanizmu reakcji, diagnozy procesu niszczenia, relacji pomiędzy mikrostrukturą i właściwościami użytkowymi [10]. Rozwój metod mikroskopowych, jaki nastąpił w ostatnich latach, zmierza z jednej strony w kierunku maksymalizacji powiększeń i zarazem wizualizacji obiektów o nanometrycznej wielkości, z drugiej strony - do detekcji wszelkich efektów, jakie mogą się pojawić wskutek oddziaływania czynnika penetrującego badany materiał [11].

Popularną grupą wśród optycznych mikroskopów metalograficznych są mikroskopy odwrócone. Układ konstrukcyjny takich mikroskopów, polegający na ułożeniu stolika mikroskopowego nad obiektywem, pozwala na badanie próbek zarówno o małych rozmiarach, jak i o dużych gabarytach. Zaletą mikroskopów odwróconych jest również brak potrzeby poziomowania próbki przed analizą, gdyż próbka kładzona jest na stoliku powierzchnią zglądu.

Modułowa budowa umożliwia wzbogacenie podstawowego wyposażenia mikroskopu w okularowe siatki pomiarowe lub porównawcze, moduły - ergonomiczne stoliki ślizgowe lub skaningowe. W połączeniu z aparatem cyfrowym i oprogramowaniem materiałowym umożliwia analizę wielkości ziaren, składników fazowych, grubości warstw czy też interaktywne pomiary charakterystycznych struktur.

Mikroskopy te stosowane są przeważnie do badania struktury metali. Najczęściej analizę dokonuje się w oparciu o system mikroskopowy, złożony z mikroskopu optycznego, kamery cyfrowej i specjalistycznego oprogramowania do analizy wielkości ziarna. Autorzy niniejszego artykułu podjęli próbę wykorzystania mikroskopu metalograficznego do nieniszczącego badania struktury materiałów włókno-cementowych.

2. Opis badań

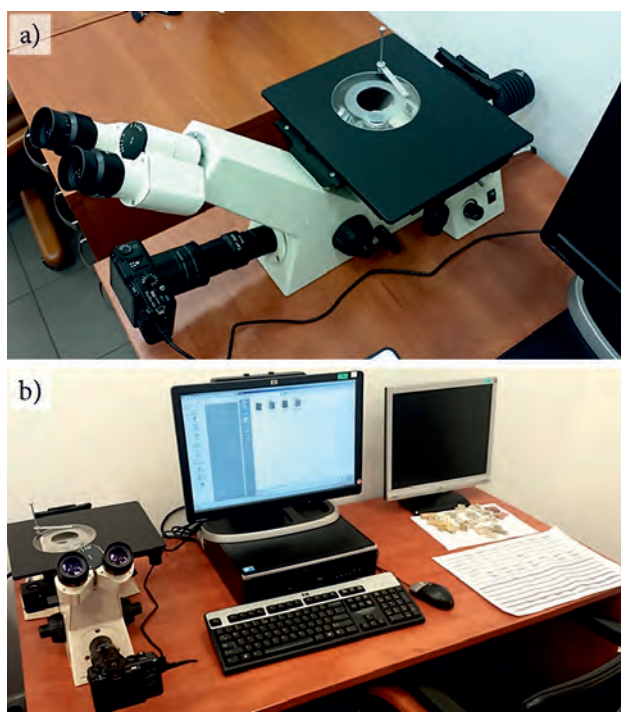
Badaniom poddano cztery płyty włókno-cementowe o różnym składzie i zastosowaniu, tj. płytę wodoodporną, płytę elewacyjną, dwie płyty wewnętrzne, oznaczane w dalszej części artykułu odpowiednio literami od A do D. Podczas badania oceniano zarówno wygląd przekroju płyty po procesie produkcyjnym, jak i wpływ symulowanych warunków eksploatacyjnych. Płyty przed badaniem były poddane różnym procesom, a mianowicie płyta A poddana została jednemu cyklowi mrożenia-rozmrażania. Z kolei płyta B została podpalana palnikiem gazowym przez 15 minut. Płyta C została umieszczona w komorze cieplnej w temperaturze 230°C przez 3 godziny, a płyta D nie została poddana obróbce termicznej ani działaniu wody.

W badaniach wykorzystano mikroskop metalograficzny ZEISS Axiovert 40 MAT. Wykorzystany do badań mikroskop metalograficzny pokazano na rysunku 2.

Jest to kompaktowy mikroskop odwrócony, skonstruowany do badań próbek przy użyciu klasycznych

technik obserwacyjnych, w świetle odbitym i przechodzącym. Podstawowe dane:

- oświetlenie halogenowe 50 W lub 100 W,
- 5-pozycyjny rewolwer obiektywowy, do jasnego i ciemnego pola,
- 4-pozycyjny rewolwer modułów optycznych,
- optyka korygowana na nieskończoność,
- techniki obserwacji: jasne pole, ciemne pole, kontrast różniczkowo-interferencyjny (DIC lub C-DIC), polaryzacja, światło transmisyjne.



Rys. 2. Widok wykorzystanego do badań mikroskopu metalograficznego (a) i widok stanowiska badawczego (b)

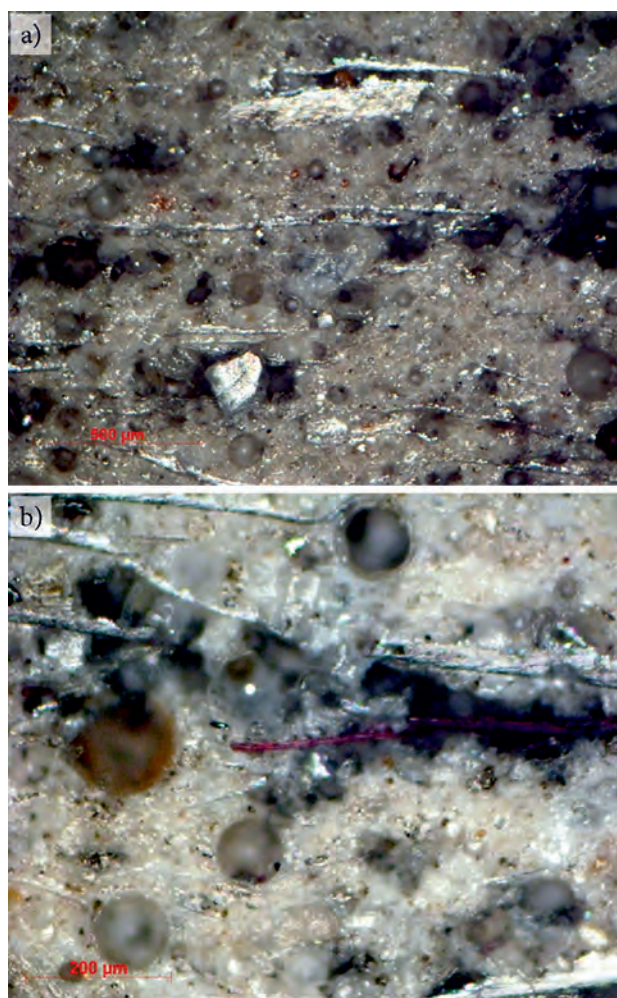
Fig. 2. The view of metallographic microscope using during the test (a) and view of research position

3. Wyniki badań i ich analiza

Na rysunku 3 pokazano przykładowe obrazy uzyskane z użyciem mikroskopu metalograficznego dla płyty A (cykl mrożenia-rozmrażania odpowiadający wpływom warunków atmosferycznych, w obszarach, gdzie występują zimy z niskimi temperaturami).

Na podstawie analizy wyników przedstawionych na rysunku 3a widoczny jest warstwowy układ mineralnego wypełniacza płytkowego zgodny z kierunkiem prasowania płyty. W lepiszczu cementowym widoczne kuliste pory powstałe w procesie produkcji (prawdopodobnie nadmiar wody nie związany w reakcjach chemicznych, która po dłuższym okresie odparowała, pozostawiając charakterystyczne kuliste przestrzenie). Na rysunku 3b można stwierdzić, że makrostrukturę każdej z próbek płyty A określono jako porowatą z licznymi porami i pustkami zlokalizowanymi wokół włókien oraz wypełniacza płytkowego. Puste przestrzenie wokół płytek miki oraz odspojenie lepiszcza cementowego od powierzchni miki spowodowane są najprawdopodobniej zamrożonymi resztkami wilgoci (objętość wody w stanie

stałym wzrasta o ok. 10%). Proces degradacji w rejonie płytek miki pogłębia się ze wzrostem ilości cykli mrożenia-rozmrażania.

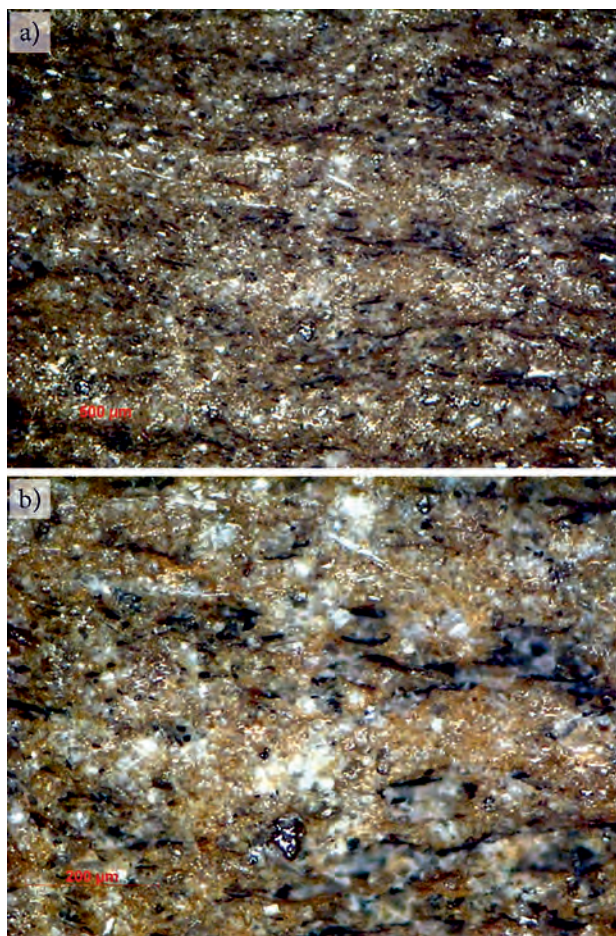


Rys. 3. Obrazy uzyskane przy użyciu mikroskopu metalograficznego dla płyty A: a) powiększenie 50x, b) powiększenie 100x
Fig. 3. Images obtained with the use of metallographic microscope for the board A: a) zoom 50x, b) zoom 100x

Z kolei na rysunku 4 pokazano przykładowe rezultaty uzyskane z użyciem mikroskopu metalograficznego dla płyty B (została podpalana palnikiem gazowym przez 15 minut – wpływ działania otwartego ognia, np. krótkotrwały pożar).

Na podstawie analizy wyników przedstawionych na rysunku 4 należy stwierdzić, że na każdej z próbek płyty B widoczny jest pasmowy przebieg włókien zbrojenia. Włókna są pociemniałe i otoczone wolną przestrzenią. Wyraźnie widoczne jest częściowe zwęglenie włókien. W miejscu ich umiejscowienia powstały wolne przestrzenie, prawdopodobnie na skutek wydzielania gazowych produktów spalania włókien.

Natomiast na rysunku 5 pokazano przykładowe rezultaty uzyskane z użyciem mikroskopu metalograficznego dla płyty C (płyta została umieszczona w komorze cieplnej w temperaturze 230°C przez 3 godziny – w celu określenia wpływu całkowitej degradacji włókien celulozowych na parametry eksploatacyjne płyty – porównywalne do wpływu działania otwartego ognia, np. długotrwały pożar).



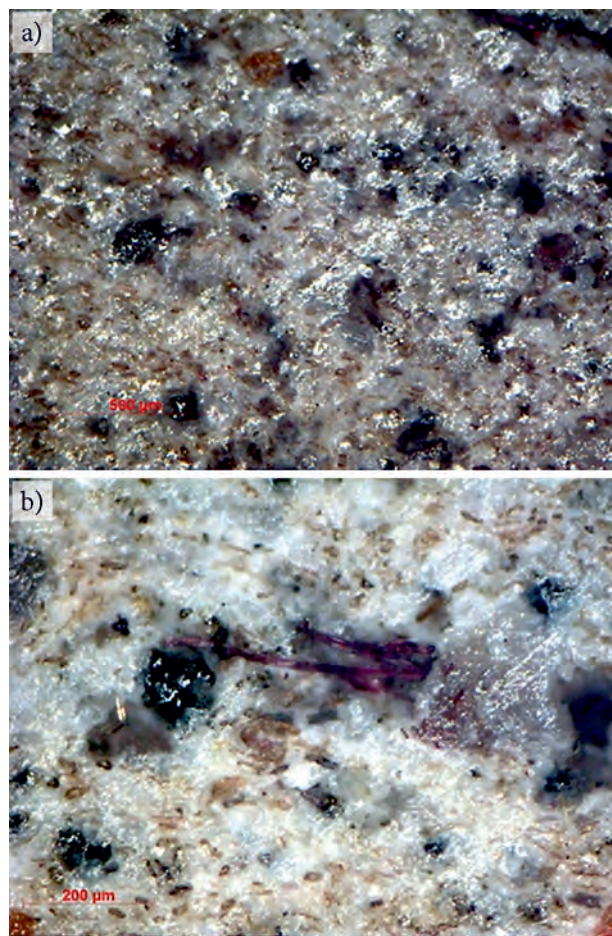
Rys. 4. Obrazy uzyskane przy użyciu mikroskopu metalograficznego dla płyty B: a) powiększenie 50x, b) powiększenie 100x
Fig. 4. Images obtained with the use of metallographic microscope for the board B: a) zoom 50x, b) zoom 100x

Na podstawie analizy wyników przedstawionych na rysunku 5 należy stwierdzić, że na każdej z próbek płyty C widoczna jest struktura mineralna z widocznymi ziarnami wypełnienia o ciemniejszym odcieniu. Przy powiększeniu 100x widoczne pustki w rejonie występowania włókna oraz wzdłuż ścian ziaren mineralnych. Analogicznie jak w przypadku płyty B widoczne są puste przestrzenie po zwęglonych wypełniaczach organicznych.

Dwa kluczowe parametry, tj. temperatura oraz czas oddziaływania wpływają na zakres i rodzaj występujących zmian w strukturze. Działanie palnika miejscowo na powierzchnię płyty powoduje silną degradację materiału w obrębie występowania wysokiej temperatury, pomimo stosunkowo krótkiego czasu 15 min. Długotrwałe (3h) wygrzewanie, ze stosunkowo niską temperaturą (230°C) płyty w całej objętości również prowadzi do zwęglenia składników organicznych, jednak stopień nasilenie zmian jest mniejszy, za to rozłożony równomiernie w całej objętości.

Na rysunku 6 pokazano przykładowe rezultaty uzyskane z użyciem mikroskopu metalograficznego dla płyty D, która nie została poddana obróbce termicznej ani działaniu wody. Próbkę ta była wykorzystana jako referencyjna w stosunku do próbek poddanych obróbce wysokiej i niskiej temperatury.

Na podstawie analizy wyników przedstawionych na rysunku 6 należy stwierdzić, że na każdej z próbek płyty D



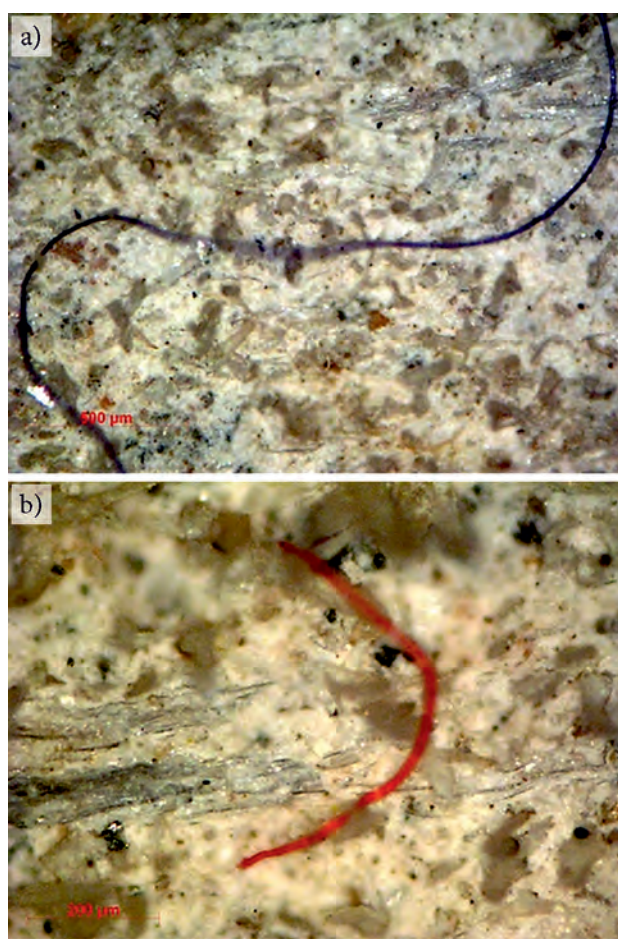
Rys. 5. Obrazy uzyskane przy użyciu mikroskopu metalograficznego dla płyty C: a) powiększenie 50x, b) powiększenie 100x
Fig. 5. Images obtained with the use of metallographic microscope for the board C: a) zoom 50x, b) zoom 100x

widoczna jest zwarta struktura mineralna z widocznym wypełnieniem nieorganicznym o morfologii płytkowej. Pojedyncze włókna są o znacznej długości i intensywnym zabarwieniu.

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono propozycję zastosowania do badania płyt włóknisto-cementowych nieniszczącą metodą mikroskopową z wykorzystaniem optycznego mikroskopu metalograficznego. Badaniom poddano dwie płyty włóknisto-cementowe o różnym składzie i zastosowaniu, tj. płytę wodoodporną oraz płytę elewacyjną. Płyty przed badaniem były poddane różnym procesom, a mianowicie jednemu cyklowi mrożenia-rozmrażania, podpalania palnikiem gazowym przez 15 minut, a także obróbce w komorze cieplnej w temperaturze 230°C przez 3 godziny. Ponadto w celach porównawczych przeprowadzono badania próbki referencyjnej, która nie została poddana obróbce termicznej ani działaniu wody. Uzyskano interesujące rezultaty badań, które pozwoliły zaobserwować zmiany zachodzące w mikrostrukturze badanych materiałów pod wpływem różnych czynników. Analiza obrazów przekrojów płyt uzyskanych zarówno bezpośrednio po produkcji, jak i eksploatacji pozwala na określenie stanu płyt nowych, jak i eksploatowanych, ich składu oraz degradacji. Ponieważ autorzy nie spotkali się

dotychczas z podobnymi badaniami w literaturze, należy sądzić, że przedstawiona metoda badania w zastosowaniu do materiałów włóknisto-cementowych powinna być dalej rozwijana, gdyż pozwala ocenić między innymi wpływ czynników eksploatacyjnych oraz wyjątkowych, np. wystąpienia pożaru na stopień zdegradowania mikrostruktury takiego materiału. Warto także zaznaczyć, że metoda badania jest szybka, tania i nie wymaga dużego nakładu pracy podczas przygotowania próbek. Wydaje się być doskonałym narzędziem uzupełniającym dla metod określonych w normach i przepisach. Pozwala w wielu przypadkach na określenie przyczyn powodujących obniżenie parametrów technicznych wymaganych wobec płyt włóknisto-cementowych, może także wspomagać oceny stopnia zużycia elementów już eksploatowanych.



Rys. 6. Obrazy uzyskane przy użyciu mikroskopu metalograficznego dla płyty D: a) powiększenie 50x, b) powiększenie 100x
Fig. 6. Images obtained with the use of metallographic microscope for the board D: a) zoom 50x, b) zoom 100x

Zastosowanie zestawu typowego dla badań metalograficznych (o innych parametrach obserwacji oraz odmiennych kryteriach oceny zglądów metalograficznych) wpłynęło na jakość obrazów próbek płyt włóknisto-cementowych.

Obrazy zdecydowanie lepiej wyglądają podczas obserwacji ich na mikroskopie oraz ekranie komputera w trakcie prowadzenia badań. Obraz quazi-stereoskopowy w okularze pozwala oceniać przestrzenną strukturę materiału. Po zapisaniu ich w postaci typowego obrazu 2D o niewielkiej głębi ostrości zdjęcia tracą niestety na jakości. Stają się mniej wyraźne.

5. Podziękowania

Artykuł powstał w ramach interdyscyplinarnego projektu naukowo-badawczego nr 01/02/2017 pn. Nieniszcząca diagnostyka obiektów budowlanych i technicznych w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa i niezawodności ich eksploatacji, realizowanego w Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej, przy współpracy pracowników Politechniki Śląskiej i Politechniki Wrocławskiej oraz Doosan Babcock Energy Polska S.A. i Instytutu Badań i Rozwoju BOSMAL.

6. Literatura/References

- [1] "Dachówka cementowa EURONIT | CREATON Polska", Euronit.pl, 2017. [Online]. Available: <http://www.euronit.pl>. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [2] "Cembrit Holding A/S, Denmark", Cembrit.com, 2017. [Online]. Available: <http://www.cembrit.com>. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [3] PN-EN 12467:2013-03E, Płyty płaskie włóknisto-cementowe. Charakterystyka wyrobu i metody badań.
- [4] R. Drelich, T. Gorzelańczyk, M. Pakuła, K. Schabowicz, "Automated Control of Cellulose Fibre Cement Boards with a Non-Contact Ultrasound Scanner", *Automation in Construction*, vol. 57, pp. 55-63, 2015. DOI 10.1016/j.autcon.2015.04.017
- [5] T. Gorzelańczyk, K. Schabowicz, "Non-Destructive Testing of Moisture in Cellulose Fiber Cement Boards", in *11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT)*, Prague, 2014.
- [6] T. Gorzelańczyk, K. Schabowicz, "Badania płyt włóknisto-cementowych zawierających materiały z recyklingu", *Materiały Budowlane*, no. 10, pp. 27-29, 2015. DOI 10.15199/33.2015.10.07
- [7] T. Gorzelańczyk, K. Schabowicz, "Rewitalizacja elewacji budynków z zastosowaniem płyt włóknisto-cementowych", *Materiały Budowlane*, no. 11, pp. 163-165, 2015. DOI 10.15199/33.2015.11.53
- [8] K. Schabowicz, T. Gorzelańczyk, M. Szymków, "Elewacje wentylowane", *Architektura Murator*, no. 6, Warsztat Architekta, no. 3, pp. 36-53, 2017.
- [9] T. Gorzelańczyk, K. Schabowicz, M. Szymków, "Nieniszczące badania płyt włóknisto-cementowych z wykorzystaniem emisji akustycznej", *Przegląd Spawalnictwa*, vol. 88, no. 10, pp. 35-38, 2016. DOI 10.26628/ps.v88i10.682
- [10] D. K. Szponder, K. Trybalski, "Określanie właściwości popiołów lotnych przy użyciu różnych metod i urządzeń badawczych", *Górnictwo i Geoinżynieria*, vol. 33, no. 4, pp. 287-298, 2009.
- [11] A. Kędzior, K. Trybalski, A. Konieczny, "Zastosowanie nowoczesnych metod badawczych w inżynierii mineralnej", *Inżynieria Mineralna*, no. 3, pp. 155-161, 2003.

Marian Jósko*

Politechnika Poznańska, Poznań

Zastosowanie metody PPM do oceny pary ciernej w układzie hamulcowym samochodu

Application of PPM method for assessment of frictional couple in car brake system

ABSTRACT

The article presents an assessment of the possibility of applying the non-destructive Prescale Pressure Measurement (PPM) method to evaluation the function and condition of the frictional couple type brake pad-brake disc in an automotive vehicle. An overall analysis of the potential capabilities of the method for use in car nodes was performed. The PPM film was scaled on a hydraulic press to determine the intensity of color that corresponds to the given pressure within the selected pressure range. Then, the distribution of pressure between the brake pad and the brake disc was investigated and their values were determined, which gives a view on the co-operation of these elements. It also allowed us to draw conclusions about the functioning of these tribological elements of the automotive vehicle and to refer to the possibilities of the method itself.

Keywords: PPM method, frictional couple, braking system

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono ocenę możliwości zastosowania nieniszczącej metody Prescale Pressure Measurement (PPM) do oceny funkcjonowania i stanu pary ciernej klocek-tarcza w układzie hamulcowym pojazdu samochodowego. Przeprowadzono ogólną analizę potencjalnych możliwości metody w zastosowaniu do węzłów samochodu. Wykonano skalowanie folii na prasie hydraulicznej w celu ustalenia zabarwienia, odpowiadającego danemu naciskowi, w wybranym zakresie ciśnienia. Następnie zbadano rozkład nacisków między klockiem a tarczą i ustalono ich wartości, co dało pogląd na współpracę tych elementów. Pozwoliło także wyciągnąć wnioski, dotyczące funkcjonowania tych elementów tribologicznych pojazdu samochodowego oraz odnieść się do możliwości samej metody.

Słowa kluczowe: Metoda PPM, para cierna, układ hamulcowy

1. Wstęp

Układy hamulcowy pojazdu samochodowego należy do ważnych jego układów podwozia ze względu na zapewnienie bezpieczeństwa użytkownikowi pojazdu oraz ruchu drogowego. O skuteczności tego układu decydują w istotnym stopniu pary cierne hamulców o różnej konstrukcji, a szczególnie stabilność ich wzajemnej współpracy. Zdatność całego układu hamulcowego jest sprawdzana podczas okresowych badań technicznych w Stacjach Kontroli Pojazdów (SKP) na dedykowanych stanowiskach rolkowych bądź płytowych. Brak jest jednak metod oceny wyłącznie pary ciernej, a zwłaszcza równomierności zapewnienia kontaktu elementów ciernych, decydujących o skutecznym działaniu i zapewnieniu wymaganej siły hamowania.

Nieniszcząca metoda PPM została opracowana przez FujiFilm Corporation jako innowacyjna metoda, specjalnie przeznaczona do oceny ciśnienia między stykającymi się elementami (maszyn, pojazdów). Jej skrócona nazwa PPM jest akronimem od anglojęzycznego określenia Prescale Pressure Measurement. Aplikacje PPM to kilkadziesiąt możliwości praktycznego zastosowania w różnych dziedzinach życia i techniki. Celem niniejszej pracy jest oszacowanie możliwości zastosowania metody do oceny funkcjonowania pary ciernej na etapie eksploatacji pojazdu w warunkach serwisowania w warsztatach samochodowych.

2. Charakterystyka istoty i potencjalnych możliwości metody odnośnie do pary ciernej

Istota fizyczna metody PPM polega na zabarwianiu się

folii z nośnikiem poliestrowym, powodowanym siłą nacisku na nią. Szczegóły strukturalne folii używanych w metodzie są zastrzeżone przez firmę FujiFilm. Dostępne są informacje użytkownika na stronach internetowych firmy i jej przedstawicieli, łącznie ze schematami, wykresami referencyjnymi, procedurami użycia, warunkami stosowania i interpretacji [1–4].

W niniejszym artykule należałoby tylko wspomnieć, że są proponowane dwa typy folii w tej metodzie. Typ folii monosheet (jednowarstwowa), oprócz warstwy nośnej z poliestru, zawiera warstwę mikrokapsułek z substancją czynną, pękających pod wpływem określonego nacisku oraz warstwę wywoływacza, który uwidacznia w monokolorze pęknięte kapsułki. Wersja two-sheet (dwuwarstwowa) zawiera oddzielnie folię z mikrokapsułkami i folię z wywoływaczem, które składają się razem w czasie stosowania. Zakresy rekomendowanych ciśnień folii zawierają się w kilku przedziałach [5]. Podstawy aplikacyjne, związane z przedmiotem niniejszych badań są zawarte w [6, 7].

Metoda ma potencjalnie szeroki zakres stosowania, m.in. w budowie maszyn i w elektronice, a potencjał jej możliwości może wykraczać poza technikę. Do najważniejszych zalet metody należą nieskomplikowane możliwości oceny rozkładu (równomierności) nacisków w stykających się elementach, oszacowanie ich wartości i różnicy, rozwojowy typoszereg folii o szerokim zakresie badanych sił jednostkowego nacisku (0,05–300) MPa oraz pomiar naciskiem stałym i chwilowym.

W budowie, a zwłaszcza w eksploatacji pojazdów samochodowych, istnieje potrzeba oceny nacisków w wielu węzłach o różnym znaczeniu funkcjonalnym. W niniejszym artykule

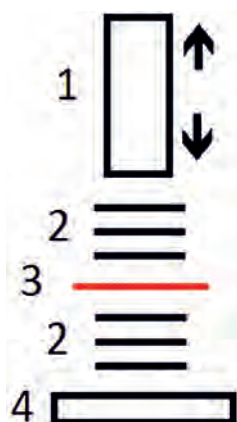
*Autor korespondencyjny. E-mail: marian.josko@put.poznan.pl

skupiono się na wybranym węźle pojazdu samochodowego, jakim jest para cierna tarczowego układu hamulcowego. Niedokładny montaż klocków hamulcowych, ich nierównomierny docisk do tarczy może spowodować nadmierne zużycie, wibracje i piski podczas hamowania oraz prowadzi do niedopuszczalnego rozkładu sił hamowania prawej i lewej części hamulców danej osi, a nawet może generować pęknięcia w klocku [8]. Różnica sił na jednej osi samochodu może wówczas przekraczać 30%, mimo jednakowego ciśnienia w układzie hamulcowym, co dyskwalifikuje pojazd do ruchu drogowego. Metoda PPM jest metodą niszową w stosunku do tradycyjnych metod badań nieniszczących, ale dobrze sprawdza się w konkretnych przypadkach oceny współpracy elementów pojazdów samochodowych. Folie o grubości (90–110) μm umożliwiają wsunięcie jej pomiędzy komponenty pary ciernej w hamulcu [4].

3. Wzorcowanie folii wybranego zakresu ciśnienia

Pomimo istnienia referencyjnego wykresu wzorcującego [5], korzystanie z niego w warunkach eksploatacyjnych jest niedogodne. Po wykonaniu badań wstępnych podjęto decyzję o wzorcowaniu rozdzielczości wizualnej (czułości) folii w zakresach wartości ciśnienia średniego i niskiego. Celem wzorcowania było zróżnicowanie intensywności barwy w podanym zakresie, umożliwiającym dokładniejsze oszacowanie wartości nacisków między klockiem hamulcowym a tarczą hamulcową, a także weryfikacja możliwości przeprowadzenia takiej operacji i wizualnego oszacowania rozdzielczości odcieni wywoływanego koloru.

Do wzorcowania użyto prasy hydraulicznej z manometrem analogowym. Zmieniana siła nacisku tłoczka o stałej powierzchni na stolik pozwoliła wyznaczyć nacisk jednostkowy (MPa). Problemem technicznym podczas wzorcowania było zapewnienie równoległości powierzchni współpracujących prasy (tłoczka i stolika) oraz ich gładkości w celu zagwarantowania równomierności nacisków. Zniwelowanie wpływu tych czynników uzyskano poprzez zastosowanie przekładek tekturowo-papierowych, umiejscowionych po obydwu stronach ściskanych folii jedno- i dwuwarstwowych (rys. 1).



Rys. 1. Schemat wzorcowania folii na prasie hydraulicznej: 1–tłok, 2–przekładki (warstwy tekturowo-papierowe), 3–arkusz folii, 4–stolik

Fig. 1. Diagram of calibration of folies on hydraulic press: 1–piston, 2–spacers (cardboard-paper layers), 3–sheet of foil, 4–table

Wzorcowaniu zostały poddane arkusze folii Medium Pressure Mono-sheet (MS) oraz Low Pressure Two-sheet (LW). Ze względu na ściśle określony i ograniczony zakres ciśnienia (i czułości) arkuszy folii oraz możliwości prasy hydraulicznej, a także zamiar uwidocznienia różnic intensywności barwy dla poszczególnych wartości nacisku, wzorcowanie arkuszy przebiegało wg następującego planu:

- dla folii Medium Pressure Mono-sheet (MS) w zakresie od 10 do 45 MPa, co 5 MPa (Tab. 1),
- dla folii Low Pressure Two-sheet (LW) w zakresie od 2,5 do 10 MPa, co 2,5 MPa (Tab. 2).

Tab. 1. Wzorcowanie jednowarstwowej folii Medium Pressure Mono-sheet (MS)

Tab. 1. Calibration of single layer film Medium Pressure Mono-sheet (MS)

10 MPa	15 MPa
20 MPa	25 MPa
30 MPa	35 MPa
40 MPa	45 MPa

W przypadku wzorcowania arkuszy folii Medium Pressure Mono-sheet (Tab. 1) naciskami jednostkowymi w zakresie (10–30) MPa, zabarwiły się one w odcieniach,

jednoznacznie umożliwiających wzrokowe stwierdzenie różnicy w intensywności koloru. Pozostałe próby w zakresie ciśnienia (35–45) MPa, mimo narastających nacisków, nie spowodowały istotnego zróżnicowania zabarwienia folii.

Tab. 2. Wzorcowanie dwuwarstwowej folii Low Pressure Two-sheet (LW)

Tab. 2. Calibration of two-layer film Low Pressure Two-sheet (LW)

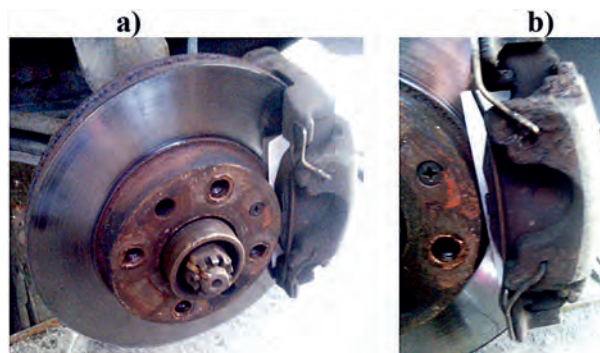
2,5 MPa	5 MPa
	
7,5 MPa	10 MPa
	

W przypadku arkuszy Low Pressure Two-sheet (Tab. 2), w zakresie niższych ciśnień, stwierdzono jednoznacznie rozróżnialne wzrokowo zróżnicowanie intensywności zabarwienia folii poddanych naciskowi, co pokrywa się z danymi ich producenta. Zarówno wzorcowanie, jak i późniejsze badanie rzeczywistego węzła samochodu, prowadzono w jednakowych warunkach zewnętrznych SKP, w temperaturze otoczenia 20–250C i wilgotności względnej 60–70%.

4. Badanie i analiza nacisków między klockiem a tarczą hamulcową

Badanym węzłem były przednie tarczowe hamulce samochodu Opel Astra F 1,6 Z16XE. Zamocowanie arkuszy o dwóch zakresach ciśnień (MS i LW) nie stanowiło dużego problemu operacyjnego i sprowadziło się – przede wszystkim – do cofnięcia tłoczków w zaciskach układu hamulcowego (rys. 2). Wprawdzie niewielka grubość folii umożliwiała wsunięcie jej między badane elementy, ale zanieczyszczenia eksploatacyjne (kurz i brud drogowy oraz produkty zużycia) zakłócają w takim przypadku wyniki testów.

Po zamocowaniu folii następowało naciśnięcie pedału hamulca. Uruchomienie silnika samochodu powodowało zwiększenie siły hamowania ze względu na pracę serwowo-mechanizmu. Siłę nacisku na pedał hamulca ustalono na poziomie 0,5 kN, zgodnie z regulaminem ECE13 i kontrolowano czujnikiem nacisku na pedał hamulca. Badania rozkładu ciśnienia prowadzono na nieruchomym pojeździe. Wyniki badań hamulca prawego koła w postaci odcisków na foliach są zamieszczone w tab. 3.



Rys. 2. Arkusz folii umieszczony między klockiem a tarczą hamulcową: a) w widoku ogólnym, b) w widoku od strony zacisku hamulcowego [9]

Fig. 2. Sheet of foil placed between the pad and the brake disc: a) in the general view, b) in the side view of the brake caliper [9]

Tab. 3. Wyniki badań rozkładu nacisku klocków hamulcowych na tarczę hamulcową samochodu (prawe koło). Typ arkusza: Medium Pressure Mono-sheet (MS)

Tab. 3. Results of investigation of brake pad pressure distribution on the brake disc of the car (right wheel). Sheet type: Medium Pressure Mono-sheet (MS)

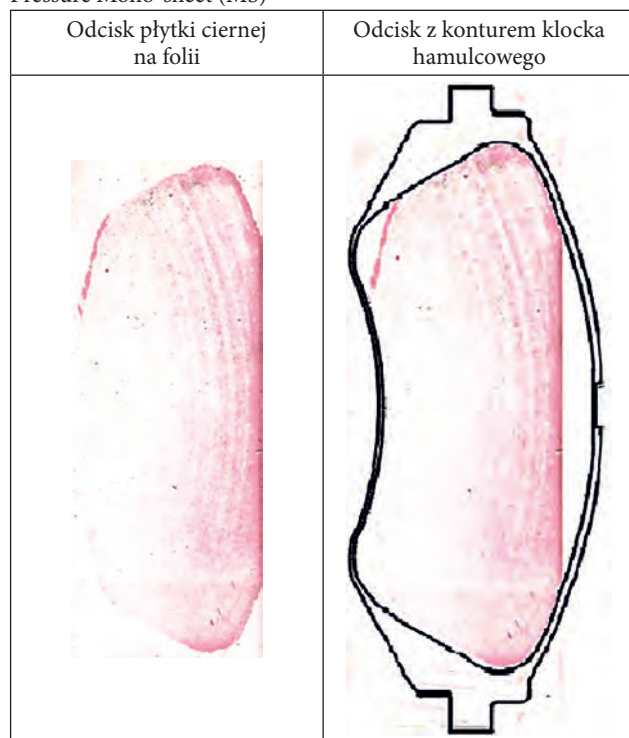
Odcisk płytki czarnej na folii	Odcisk z konturem klocka hamulcowego
	

W tabeli 4. zostały zamieszczone wyniki badań nacisku klocka hamulcowego na tarczę w lewym kole przedniego hamulca badanego samochodu w postaci odcisków płytki czarnej na folii PPM (MS). W prawych kolumnach tabel 3 i 4 pokazano kontury odcisku płytki czarnej na tle obrysu całego klocka hamulcowego (płytki nośnej).

Arkusze folii o średnim zakresie ciśnień (MS) nie zapewniły odcisków o oczekiwanej intensywności koloru. Wybrany zakres ciśnienia z typoszeregu folii PPM okazał się za wysoki. Dlatego wykonano także odciski, stosując folię w zakresie niskich ciśnień (LW). Uzyskano odciski na foliach dwuwarstwowych (dla hamulców tarczowych prawego i lewego koła) i są one zamieszczone w tab. 5 i 6.

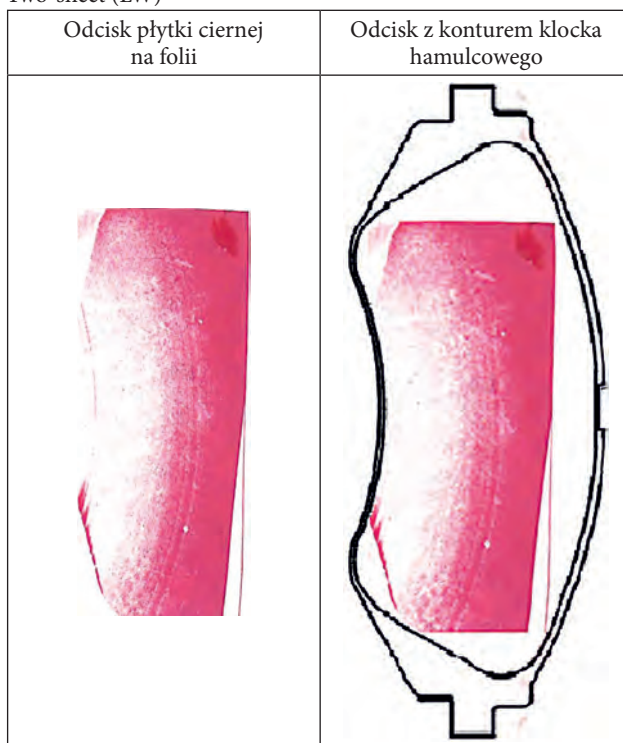
Tab. 4. Wyniki badań rozkładu nacisku klocków hamulcowych na tarczę hamulcową samochodu (lewe koło). Typ arkusza: Medium Pressure Mono-sheet (MS)

Tab. 4. Results of investigation of brake pad pressure distribution on the brake disc of the car (left wheel). Sheet type: Medium Pressure Mono-sheet (MS)



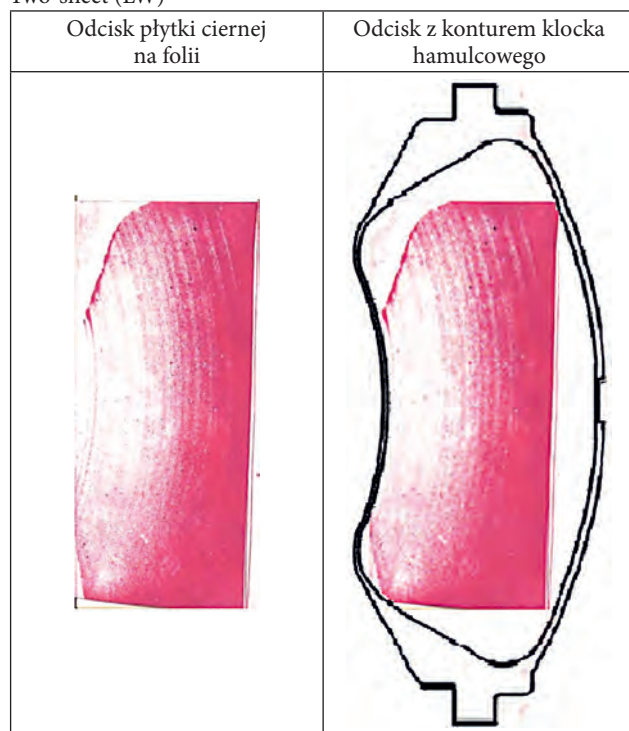
Tab. 6. Wyniki badań rozkładu nacisku klocków hamulcowych na tarczę hamulcową samochodu (lewe koło). Typ arkusza: Low Pressure Two-sheet (LW)

Tab. 6. Results of investigation of brake pad pressure distribution on the brake disc of the car (left wheel). Sheet type: Low Pressure Two-sheet (LW)



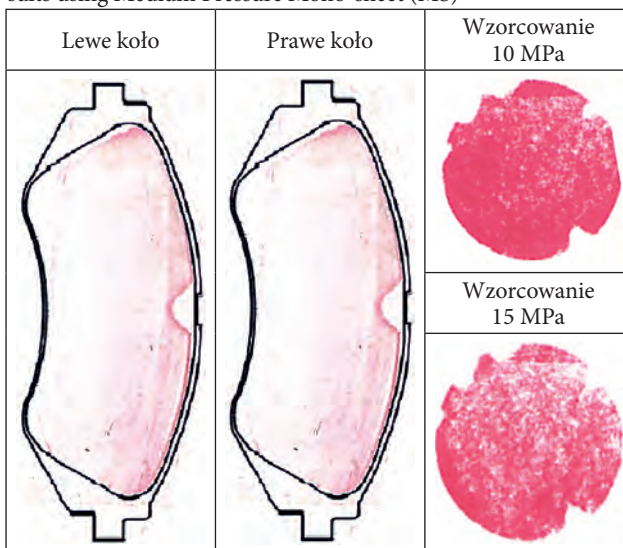
Tab. 5. Wyniki badań rozkładu nacisku klocków hamulcowych na tarczę hamulcową samochodu (prawe koło). Typ arkusza: Low Pressure Two-sheet (LW)

Tab. 5. Results of investigation of brake pad pressure distribution on the brake disc of the car (right wheel). Sheet type: Low Pressure Two-sheet (LW)



Tab. 7. Porównanie wyników badań nacisku i wzorcowania przy użyciu arkuszy Medium Pressure Mono-sheet (MS)

Tab. 7. Comparison of pressure distribution and calibration results using Medium Pressure Mono-sheet (MS)



Otrzymane odciski klocka hamulcowego na folii PPM dla prawego i lewego koła samochodu wykonane foliami o średnim (MS) i niskim (LW) zakresie ciśnienia porównano z odciskami tych folii, uzyskanymi podczas wzorcowania, przeprowadzonego za pomocą prasy hydraulicznej. Zestawienie intensywności odcisków dla tych dwóch typów arkuszy zostało zamieszczone w tab. 7 oraz tab. 8.

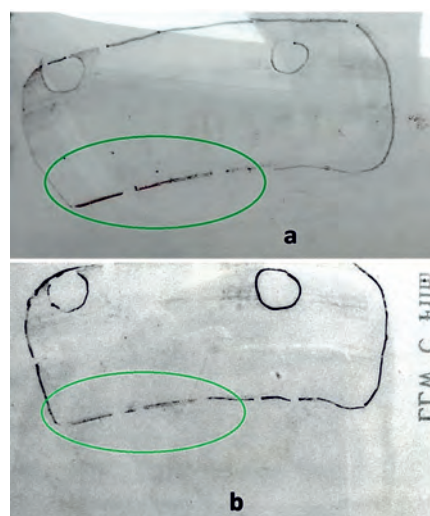
Tab. 8. Porównanie wyników badań nacisku i wzorcowania przy użyciu arkuszy Low Pressure Two-sheet (LW)**Tab. 8.** Comparison of pressure distribution and calibration results using Low Pressure Two-sheet (LW)

Lewe koło	Prawe koło	Wzorcowanie 2,5 MPa
		
		Wzorcowanie 5,0 MPa
		
		Wzorcowanie 7,5 MPa
		
		Wzorcowanie 10,0 MPa
		

Dodatkowo zbadano rozkład nacisków w hamulcu tarczowym jednośladowego pojazdu marki Yamaha FZS 600. Badanie polegało na demontażu zacisku (rys. 3), oczyszczeniu pary ciernej, umieszczeniu arkuszy folii między klockiem i tarczą, montażu zacisku i dokonaniu statycznych hamowań. Użyto folii w zakresach ciśnień HS, LLW(C) i 4LW (rys. 4). Odciski uzyskane za pomocą folii HS i LLW nie dały satysfakcjonującego poglądu o rozkładzie nacisków klocka na tarczę (rys. 5). Uwidocznili tylko w różnym stopniu odciski krawędzi. Klocki hamulcowe były intensywnie eksploatowane, z widocznymi śladami zużycia (rys. 6). Natomiast folia 4LW umożliwiła uzyskanie odcisku, dającego rozeznanie o rozkładzie nacisków oraz odzwierciedlającego nierówności powierzchni ciernej klocka, spowodowanych ubytkiem w wyniku intensywnego zużycia (rys. 7).

Analizując odciski klocków hamulcowych prawej i lewej strony hamulca tarczowego przedniej osi wybranego samochodu, należy stwierdzić, że są one zróżnicowane w zależności od zakresu ciśnień użytej folii PPM. Nie zawsze wiadomo, jakie panuje ciśnienie w badanym węzle, a metoda analitycznego jego oszacowania nie każdorazowo pokrywa się z rzeczywistością.

W badanym przypadku użycie folii LW okazało się trafniejsze od folii MS, a uzyskane odciski niosą więcej informacji o stanie współpracy statycznej klocka z tarczą. Odciski na tej folii są intensywniejsze i wystarczająco zróżnicowane oraz pokazują, że przyleganie klocka do tarczy nie jest równomierne. Ponieważ badane pary cierne były intensywnie eksploatowane, to nierówny, ale dostatecznie intensywny odcisk, informuje także o nierównomiernym i większym zużyciu części klocka. Poza tym na odciskach są widoczne szczegóły makrostruktury powierzchni wzajemnej współpracy eksploatowanych elementów, a więc nierówności powierzchni, wynikające ze zużycia, rysy i rowki oraz wżery klocków.

**Rys. 3.** Zacisk hamulcowy motocykla Yamaha FZS 600 [10]**Fig. 3.** Brake caliper of Yamaha FZS 600 motorcycle [10]**Rys. 4.** Zestaw folii FujiFilm Prescale użyty do badań [9]**Fig. 4.** Fuji Prescale film set used for investigation [9]**Rys. 5.** Wyniki badań pary ciernej hamulca motocykla z użyciem folii Fuji Prescale: a) folia HS, b) folia LLW**Fig. 5.** Results of the test of motorcycle brake frictional couple using Fuji Prescale films: a) HS film, b) LLW film

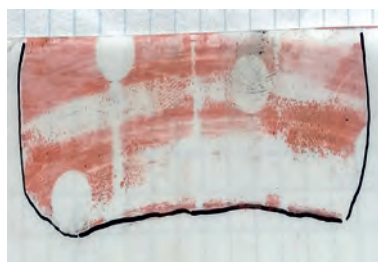
Porównanie intensywności koloru odcisków klocków

i odcisków wzorcowych (tab. 8), umożliwiło określenie zakresu ciśnień między klockiem i tarczą oraz ich rozkładu. Mieściły się one w przedziale (5–10) MPa, co jest zbliżone z wartościami ciśnienia w układzie hydraulicznym hamulca [11]. Odciski uzyskane w przypadku jednoślada były mniej intensywne i wymagały użycia folii 4LW, tj. w zakresie tzw. ultra super niskiego ciśnienia (wysokiej czułości), ale one także dają wyobrażenie o stanie współpracy pary ciernej, ukazując zróżnicowanie nacisków i odzwierciedlając stan współpracujących powierzchni. Na odciskach uwidaczniają się ubytki współpracujących elementów pary ciernej (zwłaszcza klocka), spowodowanych zużyciem ciernym lub pęknięciami. Dostrzegalny jest także efekt krawędziowego gromadzenia się produktów zużycia, pomimo oczyszczenia, a nawet umycia pary ciernej. Super wysoka czułość folii – w takim przypadku – uwidacznia nawet odciski linii papilarnych osoby umieszczającej folię między współpracującymi elementami.



Rys. 6. Klocki hamulcowe zdemontowane z motocykla Yamaha FZR 600

Fig. 6. Brake pads disassembled from the Yamaha FZR 600 motorcycle



Rys. 7. Wynik badania pary ciernej hamulca motocykla z użyciem folii 4LW Fuji Prescale

Fig. 7. The result of the test of motorcycle brake frictional couple with 4LW Fuji Prescale film

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań skalujących i weryfikujących metodę PPM, na przykładzie wybranych par ciernych układu hamulcowego, została potwierdzona przydatność tej metody do oceny funkcjonowania i stanu powierzchni styku klocka hamulcowego z tarczą hamulcową. W szczególności wnioski z testów przydatności można sprowadzić do następujących stwierdzeń:

- Metoda PPM jest łatwa w praktycznym stosowaniu i możliwa do użycia na wybranym etapie eksploatacji pojazdu, także w warunkach warsztatu serwisowego lub stacji kontroli pojazdów, a więc podczas czynności obsługowo-naprawczych lub diagnostycznych.

- Użycie metody w czasie eksploatacji wymaga oczyszczenia pary ciernej z produktów zużycia i zanieczyszczeń. Wartości wyznaczanego ciśnienia mieszczą się w zakresach objętych wykresami referencyjnymi FujiFilm. W przypadku nieznanego rzędu wartości badanego nacisku należy przeprowadzić dodatkowe próby, uściślające zakres ciśnienia folii wybranej do badań.
- Metoda może być stosowana jako wspomagająca badanie techniczne układu hamulcowego samochodu na stacjach kontroli pojazdów do szczegółowej oceny stanu współpracy pary ciernej, zwłaszcza w przypadku różnicy sił hamowania, dokładnej kontroli hamulca pomocniczego oraz towarzyszących hamowaniu symptomów dźwiękowych, jak wibracje i piski, spowodowane m.in. niewłaściwą współpracą pary ciernej lub złym montażem klocka podczas wymiany.

Przeprowadzone testy wskazują na możliwości zastosowania metody PPM także do innych węzłów pojazdów samochodowych oraz maszyn roboczych, np. kadłuba i głowic silnika, miski olejowej, obudów przekładni, kół zębatach, sprzęgieł, zaworów i innych elementów podwozia i nadwozia samochodu.

Przedmiotowe badania mogły być przeprowadzone dzięki wparciu i uprzejmemu udostępnieniu materiałów i informacji przez Firmę Pohl & Pohl, Sp. z o.o. z Raciborza oraz pomocy panów mgr inż. Karola Żurkowskiego i inż. Bartosza Królskiego.

Praca została wykonana w ramach Działalności Statutowej IMRiPS PP: 05/51/DSPB/3385.

6. Literatura/References

- [1] "Prescale", Fujifilm Europe, 2017. [Online]. Available: <https://www.fujifilm.eu/eu/products/industrial-products/prescale>. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [2] "Pressure Measurement Film | Fujifilm Global", Fujifilm.com, 2017. [Online]. Available: <http://www.fujifilm.com/products/prescale>. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [3] "Prescale - Fujifilm - NDT. Badania nieniszczące & zgrzewanie doczołowe.", Ndt.pl, 2017. [Online]. Available: <http://www.ndt.pl/prescale.html>. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [4] "Informacje o produktach", pohl & pohl, Ndt.pl, 2017. [Online]. Available: <http://www.ndt.pl>. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [5] Ulotka o rodzajach błon Prescale, Fujifilm, [Online]. Available: www.ndt.pl/files/Ulotka-Fuji-str-2.jpg [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [6] "Pressure Measurement Film Prescale. Application examples for Automobiles.", FujiFilm Corporation, Ref. No. XX-XXXE, [Online]. Available: http://www.ndt.pl/files/application_examples-for-AutomobilesE_7muv6cak.pdf. [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [7] "Pressure Measurement Film Prescale. Application examples for Automobiles. No. 10", FujiFilm Corporation, [Online]. Available: http://www.ndt.pl/files/application_10_automobile-disc-brake-pads_zf4ochw9.pdf [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [8] M. Josko, "The role of non-destructive testing in the safety of road transportation", W: EAST-WEST COHESION: Strategical study volumes, Edited by Andras Istvan-Rajcsanyi Molnar Monika, Published by Cikos Group, www.cikos.rs, Szabadka, 2017, pp. 56-66. ISBN 978-86-82621-28-7
- [9] K. Żurkowski, B. Królski, Niepublikowane opracowania w ramach badań własnych do prac dyplomowych, WM RiT PP, Poznań, lata 2016-2017.
- [10] "Zacisk hamulca Yamaha FZR 600" [Online]. Available: <http://imged.pl/zacisk-hamulca-przod-p-yamaha-fzr-600-fazer-czesci-15749140.html> pdf [Accessed: 09- Oct- 2017]
- [11] M. Kozłowski (red.), Budowa i eksploatacja pojazdów, Wrocław: Wyd. Vogel Publishing, 2009.

BADANIE SPOIN I LUTOWIN

RADIOGRAFIA CYFROWA

» **Motoryzacja** » **Lotnictwo** » **Spawalnictwo** » **Energetyka** » **Lutowiny**



YXLON International GmbH - Systemy stacjonarne

- » Systemy spełniają wymagania norm w zakresie badania spoin - **PN EN ISO 17636-2**, w zakresie klasy B nawet dla grubości 1,5mm
- » Możliwość zamontowania lampy rentgenowskiej od 160kV do 600kV
- » Lampy nano -, mikro -, mini - ogniskowe
- » Badanie wszystkich materiałów w szerokim zakresie grubości

NOVO DR Ltd. - Systemy mobilne

- » System pozwalana spełnić wymagania norm w zakresie badania spoin - **PN EN ISO 17636-2, ASTM E2698, E2737, Boeing BSS7044**
- » Badanie ubytków korozyjnych w instalacjach diagnostycznych
- » Szybkie badanie i wysoka jakość obrazu - wyniki na żywo



Casp System Sp. z o.o.

ul. Puszkina 2, 43-603 Jaworzno

tel.: +48 32 720 24 04 / +48 32 614 12 29 / fax: +48 32 750 56 06 / e-mail: ndt@casp.pl

www.ndt24.pl

Tomasz Katz*

Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Warszawa

Sprawdzanie i weryfikacja defektoskopów ultradźwiękowych

Characterization and verification of ultrasonic flaw detector

ABSTRACT

The purpose of this article is to present the most important requirements and problems related to periodic inspection of ultrasonic flaw detectors in accordance with requirements of standard PN-EN 12668-1: 2010. Particular attention has been paid to the measurement of ultrasonic flaw detector parameters and requirements concerning specialist measuring equipment. The form of ultrasonic flaw detector certificate was proposed, which specifies all tests of group 2 of PN-EN 12668-1: 2010. The proposed certificate confirms the compatibility of the flaw detector with the specified standard and the test group under which the equipment was tested.

Keywords: *characterization, verification, calibration, flaw detector*

STRESZCZENIE

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie najważniejszych wymagań oraz przedyskutowanie problemów związanych z okresową kontrolą defektoskopów ultradźwiękowych zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12668-1:2010. Szczególną uwagę zwrócono na problematykę pomiaru podstawowych parametrów aparatu ultradźwiękowego, w tym wymagania dotyczące stosowanej aparatury kontrolno-pomiarowej. Zaproponowano wzór świadectwa sprawdzenia defektoskopu ultradźwiękowego, w którym wyszczególniono i potwierdzono wykonanie wszystkich testów grupy 2 normy PN-EN 12668-1:2010. Proponowane świadectwo potwierdza zgodność defektoskopu z wersją normy oraz grupą testów jakiej podlega testowany sprzęt.

Słowa kluczowe: *sprawdzenie, weryfikacja, wzorcowanie, defektoskop*

1. Wstęp

Jednym z elementów systemu zapewnienia jakości badań nieniszczących prowadzonych przez specjalistyczne firmy i laboratoria jest nadzór nad aparaturą badawczą. W przypadku badań ultradźwiękowych nadzór ten sprowadza się do sprawdzania i weryfikacji parametrów defektoskopów ultradźwiękowych, głowic, kompletnej aparatury oraz wzorców i próbek odniesienia. Nowe elementy wyposażenia ultradźwiękowego powinny posiadać certyfikaty wystawiane przez producentów potwierdzające zgodność z odpowiednimi normami.

W szczególności, w przypadku defektoskopów ultradźwiękowych, jest to norma PN-EN 12668-1 [1], zaś w przypadku głowic ultradźwiękowych norma PN-EN 12668-2 [2]. Jednak nadzór nad aparaturą obejmuje również okresowe kontrole elementów wyposażenia badawczego będących w eksploatacji. Do rutynowych obowiązków operatorów badań ultradźwiękowych należy np. sprawdzanie kompletnej aparatury ultradźwiękowej w układzie defektoskop, kabel połączeniowy, głowica. Sprawdzenia tego dokonuje się w ramach uproszczonej kontroli operatorskiej według PN-EN 12668-3 [3]. Norma PN-EN 12668-1:2010 [1] wymaga jednak, aby defektoskopy ultradźwiękowe poddawane były także bardziej kompleksowej kontroli okresowej dokonywanej raz na 12 miesięcy lub po naprawie aparatu ultradźwiękowego. W tym celu norma definiuje specjalną kategorię testów określaną jako testy grupy 2. Testy te mogą być wykonywane zarówno przez serwis producenta, specjalistyczną firmę zewnętrzną, jak też przez samego użytkownika. Należy podkreślić, że kontrola okresowa defektoskopu według PN-EN 12668-1:2010 ma ściśle określony interwał czasowy, precyzyjnie określony zestaw parametrów podlegających kontroli a także sposób ich pomiaru

i kryteria akceptacji. Należy zauważyć, że analogiczna norma dotycząca głowic ultradźwiękowych, PN-EN 12668-2:2010 [2] nie wprowadza obligatoryjnego nakazu kontroli okresowej głowic a jedynie stwierdza, że kontrola taka może zostać wprowadzona na mocy uzgodnień między zainteresowanymi stronami. Doprowadza to do sytuacji, że firmy wykonujące badania nieniszczące metodą ultradźwiękową posiadają świadectwa zgodności na głowice ultradźwiękowe wystawione wiele lat wcześniej, które nie odzwierciedlają aktualnego stanu głowic. Problem ten poruszono w pracy [4], gdzie omówiono przyczyny prowadzące do stopniowej degradacji parametrów głowic ultradźwiękowych oraz przedyskutowano negatywny wpływ tych zmian na jakość badania ultradźwiękowego.

2. Przegląd parametrów aparatu ultradźwiękowego

Pełne zestawienie parametrów charakteryzujących aparat ultradźwiękowy przedstawiono w punkcie 6. normy [1]. Część parametrów ma charakter czysto informacyjny, jak np. waga, wymiary czy dostępne wejścia – wyjścia sygnałowe. Do parametrów, które określają sprawność techniczną defektoskopu oraz mają istotny wpływ na przebieg badań należą: częstotliwość powtarzania impulsu, zakres napięcia zasilania, stabilność amplitudy impulsu nadawczego oraz podstawy czasu w funkcji napięcia zasilania, zakres temperatur pracy, szczegółowe parametry nadajnika (kształt impulsu, napięcie impulsu V_{pp} , czas narastania, czas trwania), szczegółowe parametry odbiornika (charakterystyka liniowości pionowej, częstotliwość środkowa oraz szerokość pasma dla poszczególnych filtrów, poziom szumów w $nV/\sqrt{Hz}$) oraz dokładność tłumika decybelowego. Producent powinien określić wartości nominalne tych parametrów w specyfikacji nowego urządzenia. Wykonując

* Autor korespondencyjny. E-mail: tkatz@ippt.pan.pl

kolejne sprawdzenia okresowe defektoskopu przewidziane w normie [1], należy odnosić się do tych parametrów.

3. Testy grupy 2

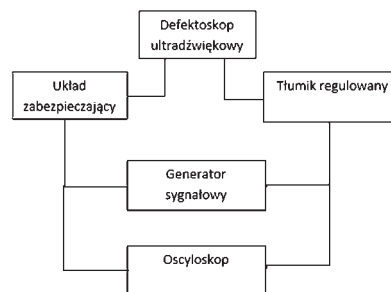
Kontrola aparatu ultradźwiękowego według normy PN-EN 12668-1 wyraźnie określa sposób i zakres sprawdzenia defektoskopu ultradźwiękowego. Podstawą do pomiarów jest grupa 2, która zakłada testy każdego aparatu ultradźwiękowego, okresowo co 12 miesięcy lub po naprawie urządzenia. Wraz z nowym urządzeniem spełniającym wymogi normy [1] dostajemy świadectwo kontroli oraz raport z testów wykonanych przez producenta urządzenia, tzw. zero point test. Raport ten jest pierwszym zapisem parametrów technicznych defektoskopu. Należy mieć na uwadze, że dokument ten jest ważny przez 12 miesięcy od daty kontroli urządzenia, nie zaś od daty dostawy urządzenia do klienta. Po upływie 12 miesięcy, aby uzyskać aktualne świadectwo stanu technicznego defektoskopu, należy wykonać szereg pomiarów. Tabela 2 zawarta w normie [1] określa zestaw testów, które należy bezwzględnie wykonać, aby świadectwo wystawione przez jednostkę sprawdzającą było zgodne z przedmiotową normą. W ramach kontroli okresowej każdy defektoskop ultradźwiękowy powinien zostać poddany poniżej wymienionym testom i sprawdzeniom. Numery podane w nawiasach odpowiadają konkretnym punktom normy PN-EN 12668-1:2010:

- stan i wygląd zewnętrzny (9.2);
- stabilność po czasie nagrzewania (9.3.2);
- stabilność krótkookresowa – jitter (9.3.3);
- stabilność w funkcji napięcia zasilania (9.3.4);
- parametry impulsu nadawczego (9.4.2);
- charakterystyka częstotliwościowa odbiornika (9.5.2);
- szумы wzmacniacza (9.5.3);
- dokładność tłumika decybelowego (9.5.4);
- liniowość obrazowania pionowego (9.5.5);
- liniowość podstawy czasu (8.8.2).

Poszczególne testy aparatury ultradźwiękowej należy przeprowadzać zgodnie z określonym schematem połączenia defektoskopu z urządzeniami pomiarowymi przy ściśle określonych ustawieniach defektoskopu. Poniższy schemat przedstawia sposób połączenia elementów aparatury do głównych testów defektoskopu ultradźwiękowego wymienionych powyżej.

Lista kontrolna testów aparatu ultradźwiękowego rozpoczyna się od sprawdzenia stanu zewnętrznego urządzenia tak, aby można było wykluczyć niesprawność na skutek upadku lub zalania aparatu ultradźwiękowego. Następnie przechodzi się do testów stabilności pracy urządzenia w funkcji napięcia zasilającego. W dalszej kolejności wykonywane są testy nadajnika oraz odbiornika aparatu ultradźwiękowego. Kontrola nadajnika polega na przełączeniu defektoskopu na pracę metodą przepuszczania i połączeniu wyjścia nadajnika z wejściem oscyloskopu cyfrowego przy zastosowaniu tłumika oraz bezreakcyjnego opornika 50Ω. Następnie należy wykonać pomiary parametrów impulsu nadawczego, tj. jego napięcia V_{50} [V], czasu narastania t_r [ns], czasu trwania t_d [ns] oraz, w przypadku impulsów prostokątnych, napięcia rewerberacji V_r [V] dla maksymalnej i minimalnej częstotliwości powtarzania PRF. Pomiary należy wykonać dla każdego ustawienia napięcia impulsu nadawczego przy minimalnym i maksymalnym obciążeniu nadajnika.

Poniższa tabela I przedstawia przykładowy zapis wyników badania parametrów szpilkowego impulsu nadawczego dla różnych wartości PRF, napięcia oraz obciążenia nadajnika defektoskopu ultradźwiękowego.



Rys. 1. Schemat połączeniowy układu do testowania defektoskopu ultradźwiękowego

Fig. 1. Connection diagram of the ultrasonic flaw detector system

Tab. 1. Zapis parametrów badania impulsu nadajnika zgodnie z PN-EN 12668-1:2010

Tab. 1. Recording parameters of transmitter pulse according to PN-EN 12668-1:2010

Ustawienia nadajnika	Napięcie impulsu V_{50} , V	Czas narast. t_r , ns	Czas trwania t_d , ns	Rewerberacja V_r , V	Akceptacja
1500 Hz, Szpilka, -120 V, 50 Ω	-113	6,4	74,8	n.d.	Tak
1500 Hz, Szpilka, -120 V, 1000 Ω	-115	5,0	115,0	n.d.	Tak
1500 Hz, Szpilka, -300 V, 50 Ω	-282	6,9	42,8	n.d.	Tak
1500 Hz, Szpilka, -300 V, 1000 Ω	-286	5,7	62,8	n.d.	Tak
15 Hz, Szpilka, -120 V, 50 Ω	-113	6,4	74,8	n.d.	Tak
15 Hz, Szpilka, -120 V, 1000 Ω	-115	6,5	117,0	n.d.	Tak
15 Hz, Szpilka, -300 V, 50 Ω	-282	7,2	42,4	n.d.	Tak
15 Hz, Szpilka, -300 V, 1000 Ω	-287	5,8	62,8	n.d.	Tak

Kryteria akceptacji:

- napięcie impulsu nadawczego - V_{50} w granicach $\pm 10\%$ napięcia nominalnego;
- czas narastania - t_r mniejszy od maksymalnej wartości nominalnej;
- czas trwania - t_d w granicach $\pm 10\%$ wartości nominalnej;
- rewerberacja - V_r poniżej 4% napięcia peak-to-peak impulsu nadawczego;

Weryfikacja czasu narastania impulsu jest ważna, ponieważ parametr ten ma istotny wpływ na pobudzanie głowic wysokich częstotliwości. Przetworniki piezoelektryczne takich głowic wymagają szybkiego czasu narastania impulsu w celu wzbudzenia w nich drgań. Czas trwania impulsu pobudzającego przetwornik wpływa z kolei na osiową zdolność rozdzielczą sygnału emitowanego przez głowicę. Generowanie zbyt długiego impulsu powoduje rozmycie echa i utratę rozdzielczości osiowej układu, co przekłada się na obniżoną dokładność określania położenia

wad lub innych reflektorów odbijających fale ultradźwiękowe. Testy odbiornika aparatu sprawdzają charakterystykę częstotliwościową odbiornika, szumy wzmacniacza, dokładność tłumika decybelowego, liniowość zobrazowania pionowego oraz liniowość podstawy czasu.

W jednym przypadku testów grupy 2 norma określa dwie różne metodologie sprawdzania dla starszych modeli defektoskopów opartych na lampie oscyloskopowej oraz nowoczesnych urządzeń cyfrowych. Sprawdzenie liniowości podstawy czasu urządzenia analogowego polega na wygenerowaniu na wejściu odbiornika defektoskopu, w równych odstępach, 11 krótkich impulsów sinusoidalnych tak, aby trzeci impuls znajdował się na 2 działce podstawy czasu, zaś impuls dziewiąty na 8 działce podstawy czasu. Weryfikacja polega na sprawdzeniu położenia pozostałych 9 impulsów i zapisaniu ich odchyleń od pozycji nominalnej dla różnych zakresów podstawy czasu. Kryterium akceptacji to odchylenie pozycji impulsów nie większe niż $\pm 1\%$ zakresu podstawy czasu.

Sprawdzenie liniowości podstawy czasu aparatu cyfrowego polega na wygenerowaniu sygnału testowego o częstotliwości f_0 ustawionego filtra i czasie trwania 1 cyklu sinusoidy. Sygnał ten podaje się na wejście odbiornika defektoskopu z kontrolowanym opóźnieniem równym wielokrotności 5% nastawionego zakresu obserwacji. Weryfikacja polega na porównaniu zmierzonych przez defektoskop położenia sygnału testowego z opóźnieniami nastawionymi na generatorze. Ewentualne różnice nie mogą przekraczać $\pm 0,5\%$ nastawionego zakresu obserwacji. Test taki powtarza się dla minimalnego, maksymalnego oraz pośredniego zakresu obserwacji, jaki można ustawić na defektoskopie. Należy zauważyć, że powyżej opisany test liniowości podstawy czasu można rozszerzyć i wykorzystać do określenia dokładności pomiarów czasu przejścia za pomocą testowanego defektoskopu ultradźwiękowego. Sprawdzenie takie może być przydatne np. dla laboratoriów wykonujących dokładne pomiary prędkości fal ultradźwiękowych w różnych materiałach.

4. Aparatura pomiarowa

Norma dotycząca charakterystyki i weryfikacji aparatury ultradźwiękowej wyszczególnia listę aparatury kontrolno-pomiarowej, która jest niezbędna do sprawdzenia defektoskopu ultradźwiękowego, wg testów grupy 2. Są to:

- 2 kanałowy oscyloskop z minimum 100 MHz pasmem;
- $50\ \Omega \pm 1\%$ opornik bezreaktywny;
- $50\ \Omega$ kalibrowany tłumik o kroku 1 dB i zakresie tłumienia 0-100 dB ze skumulowanym błędem poniżej 0,3 dB na każde 10 dB w zakresie częstotliwości do 15 MHz;
- 2 kanałowy generator sygnałowy z zewnętrznym wyzwaniem i bramką do wyzwania wielu cykli sinusoidalnych o częstotliwościach w zakresie badanej aparatury;
- regulowane źródło zasilania DC.

Analizując listę niezbędnej aparatury, można stwierdzić, że w ofercie producentów specjalistycznej aparatury pomiarowej znajdziemy oscyloskop, generator, zasilacz DC czy też opornik. Jednak dużym problemem, a wręcz niemożliwością może okazać się znalezienie $50\ \Omega$, regulowanego tłumika o zakresie 0-100 dB i błędzie poniżej 0,3 dB na każde 10 dB tłumienia. Wiele dostępnych tłumików pracuje w zakresie 0-60 dB, co powoduje niezgodność z wymaganiami normy. Tłumiki

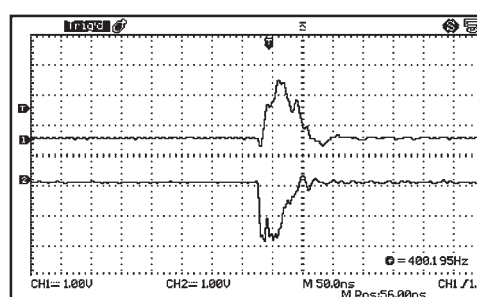
te często nie spełniają warunku rezystancji we/wyj, ponieważ są przystosowane do pracy w układach $75\ \Omega$.



Rys. 2. Z lewej tłumik dopasowujący amplitudę impulsu nadawczego. Z prawej układ odwracający impulsy nadawcze defektoskopu ultradźwiękowego i dopasowujące go do standardu TTL

Fig. 2. Silencer adjusting the amplitude of the transmit pulse (left). Inverted ultrasonic flaw detector and matched to TTL (right)

Chcąc wykonać testy zgodnie z normą [1] i schematem połączeniowym przedstawionym na rys. 1 trzeba uwzględnić polaryzację i amplitudę impulsu z nadajnika defektoskopu, która nie jest dopasowana do standardu sygnału TTL wymaganego na wejściach wyzwalających generatora sygnałowego. Należy mieć na uwadze, że defektoskopy ultradźwiękowe generują impuls nadawczy spolaryzowany ujemnie, co powoduje problem z odbiorem sygnału przez generator nawet po zastosowaniu tłumika decybelowego. Niezbędne jest więc urządzenie dopasowujące sygnał nadajnika defektoskopu do wejścia TTL generatora (rys. 2), które odwróci polaryzację sygnału z ujemnej na dodatnią tak jak zobrazowano to na rys. 3. Drugą cechą impulsu nadawczego defektoskopu, która stanowi problem dla urządzeń pomiarowych jest duża wartość napięcia generowanego przez układ nadajnika defektoskopu (rzędu 400 V i więcej). Napięcie o takiej wartości może uszkodzić wejście oscyloskopu lub wejście wyzwalające generatora sygnałowego, a nawet sam układ odwracający polaryzację sygnału. Z powodu różnic w zakresach napięć nadajnika w różnych modelach defektoskopów należy posiadać tłumik regulowany dopasowany do różnych napięć i rezystancji nadajników.



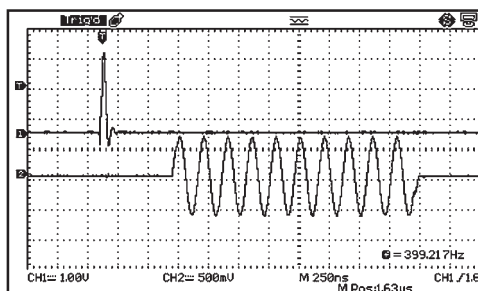
Rys. 3. Zobrazowanie przebiegów impulsu nadawczego (dolny) oraz impulsu odwróconego (górny) podawanego na wejście wyzwalające generatora sygnałowego

Fig. 3. Display of the transmit pulse waveform (bottom) and the inverted pulse (top) of the signal generator triggering

Zobrazowanie ekranu oscyloskopu pokazane na rys. 3 przedstawia na dolnym przebiegu impuls z nadajnika defektoskopu ultradźwiękowego. Impuls o polaryzacji ujemnej nie jest właściwy dla modułu wyzwalającego generatora sygnałowego. Górny przebieg przedstawia impuls dopasowany do standardu TTL zarówno pod względem polaryzacji, jak i amplitudy napięcia.

Na rys. 4 przedstawiono przebiegi dopasowanego sygnału

z nadajnika aparatu oraz testowego sygnału sinusoidalnego wygenerowanego z generatora sygnałowego. Jest to typowy sygnał testowy do sprawdzania charakterystyk częstotliwościowych odbiornika oraz szumów wzmacniacza. W celu zmniejszenia wpływu stanów nieustalonych na wyniki pomiarów norma zaleca stosowanie impulsu sinusoidalnego o długości 10 cykli.



Rys. 4. Przebiegi typowych sygnałów z nadajnika defektoskopu (górny) oraz sygnału testowego z generatora sygnałowego (dolny)
Fig. 4. Waveforms of typical signals from the defectoscope transmitter (top) and test signal from the signal generator (bottom)

5. Świadczenie sprawdzenia defektoskopu

Przeglądając świadectwa sprawdzenia defektoskopów wystawiane przez różne serwisy i jednostki sprawdzające aparaturę ultradźwiękową, napotyka się na liczne nieprawidłowości w wykonywanych testach lub też braki zapisów świadczących o wykonaniu danego typu badania.

ŚWIADECTWO SPRAWDZENIA DEFECTOSKOPU ULTRADŹWIKOWEGO

Nr: _____
Niniejszym zaświadcza się, że poniżej opisany defektoskop ultradźwiękowy został przetestowany i zweryfikowany zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12668-1:2010 w zakresie testów Grupy 2 (badania okresowe co 12 m-cy oraz badania po naprawach).

Marka i model defektoskopu : _____
Numer seryjny S/N : _____
Właściciel : _____

APARATURA POMIAROWA:

Oscyloskop cyfrowy : _____
Generator sygnałowy : _____
Tłumik kalibrowany 100dB : _____
Regulowane źródło zasilania DC : _____
Opornik bezreaktywny : _____

WARUNKI ŚRODOWISKOWE:

Temperatura : _____
Wilgotność : _____

WYNIKI KONTROLI:

1. Stan i wygląd zewnętrzny (9.2) : _____
2. Stabilność po czasie nagrzewania (9.3.2) : _____
3. Stabilność krótkookresowa - jitter (9.3.3) : _____
4. Stabilność w funkcji napięcia zasilania (9.3.4) : _____
5. Parametry impulsu nadawczego (9.4.2) : _____
6. Charakterystyka częstotliwościowa odbiornika (9.5.2) : _____
7. Szumy wzmacniacza (9.5.3) : _____
8. Dokładność tłumika decybelowego (9.5.4) : _____
9. Liniowość zobrazowania pionowego (9.5.5) : _____
10. Liniowość podstawy czasu (8.8.2) : _____

AKCEPTACJA / NIEZGODNOŚĆ

OKRES WAŻNOŚCI ŚWIADECTWA

Wykonawca : _____

Od dnia do dnia : _____

Data sprawdzenia : _____

Rys. 5. Proponowany wzór świadectwa sprawdzenia defektoskopu ultradźwiękowego

Fig. 5. Proposed model of the ultrasonic flaw detection certificate

Częstymi błędami są braki zapisów z testów badających stabilność urządzenia po czasie nagrzewania, stabilność krótkookresową oraz stabilność w funkcji napięcia zasilania. Spotyka się też braki zapisów dotyczących pomiarów szumów wzmacniacza. Analizowane świadectwa bywają niekompletne, a testy przeprowadzane w ramach kontroli okresowej wykonywane w sposób pobieżny, często z pominięciem niektórych pasm

filtrów odbiornika defektoskopu ultradźwiękowego.

Spotyka się też badania wykonywane nie w sposób czysto elektryczny, jak wymaga tego norma PN-EN 12668-1, lecz przy użyciu głowicy ultradźwiękowej oraz wzorców nr 1 lub nr 2.

W przypadku badania z użyciem głowicy nie można mówić o kontroli aparatu ultradźwiękowego według normy PN-EN 12668-1, lecz o uproszczonej operatorskiej kontroli aparatury kompletnej według normy PN-EN 12668-3.

W skrajnych przypadkach wystawione świadectwa są zapisem informacji pomiarowych bez podania jakichkolwiek danych identyfikacyjnych dotyczących zastosowanej aparatury pomiarowej oraz opisu wyników, który umożliwiłby ich porównanie z wymaganiami normy. Samo sprawdzenie dokładności tłumika decybelowego defektoskopu wymaga użycia zewnętrznego kalibrowanego tłumika decybelowego oraz udokumentowania zgodności między wartościami nastawianymi na tłumiku zewnętrznym oraz tłumiku aparatu.

6. Podsumowanie

Zapewnienie odpowiedniego nadzoru nad stanem technicznym stosowanych aparatów ultradźwiękowych jest bardzo ważnym czynnikiem zapewnienia jakości badań ultradźwiękowych.

Z przedstawionej analizy problematyki okresowego sprawdzania i weryfikacji defektoskopów ultradźwiękowych wynika jednak, że w wielu przypadkach coroczna kontrola, a w szczególności zapisy w jej świadectwach, nie są zgodne z wymaganiami normy PN-EN 12668-1:2010. W celu poprawy obecnego stanu rzeczy należy w pierwszym rzędzie dostosować się do jasno określonych wymagań tej normy. Ponieważ sprawdzanie aparatu ultradźwiękowego wymaga dobrego zrozumienia zasad jego działania oraz biegłości w jego obsłudze, wskazane jest też, aby personel dokonujący sprawdzenia defektoskopów posiadał kwalifikacje w metodzie ultradźwiękowej. Bardzo ważne jest również to, aby wystawiane świadectwa sprawdzenia wyszczególniały typy oraz numery seryjne zastosowanej aparatury kontrolno-pomiarowej oraz załączniki ze szczegółowymi wynikami wszystkich testów grupy 2. Wyniki te powinny umożliwiać jednoznaczne określenie, czy sprawdzany defektoskop spełnia wymagania normy [1]. Na rys. 5 pokazano przykładowy wzór świadectwa sprawdzenia defektoskopu, w którym wyszczególniono i potwierdzono wykonanie wszystkich testów grupy 2 normy PN-EN 12668-1:2010. Proponowane świadectwo potwierdza zgodność defektoskopu z wersją normy oraz grupą testów, jakiej podlega testowany sprzęt.

Do świadectwa powinien zostać załączony raport ze szczegółowymi zapisami wyników pomiarów.

7. Literatura/References

- [1] PN-EN 12668-1:2010, Badania nieniszczące – Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej – Część 1: Aparatura.
- [2] PN-EN 12668-2:2010, Badania nieniszczące – Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej – Część 2: Głowice.
- [3] PN-EN 12668-3:2014-02, Badania nieniszczące – Charakteryzowanie i weryfikacja aparatury ultradźwiękowej – Część 3: Aparatura kompletna.
- [4] S. Mackiewicz, "Podstawowe parametry głowic ultradźwiękowych oraz ich wpływ na jakość wykonywanych badań", Przegląd Spawalnictwa, vol. 88., no. 10, pp. 86-91, 2016.



INSTYTUT SPAWALNICTWA
Polskie Spawalnictwe Centrum Doskonałości



Usługi badawcze w Instytucie Spawalnictwa prowadzone są przez akredytowane Laboratorium Badawcze Spawalnictwa (LBS), które – dla potrzeb certyfikacji, odbiorów i dopuszczeń – wykonuje badania:

- materiałów przeznaczonych na konstrukcje spawane
- połączeń spajanych metali i ich stopów oraz tworzyw sztucznych
- sprzętu do spawania.

Laboratorium oferuje:

- badania nieniszczące
 - wizualne
 - penetracyjne
 - magnetyczno-proszkowe
 - ultradźwiękowe
 - radiograficzne
- badania mechaniczne
- badania metalograficzne (makro i mikroskopowe)

LBS ma system zarządzania jakością według normy PN-EN ISO/IEC 17025.

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

Marta Wojaś*

TEST-EXPERT Marta Wojaś, Puławy

Wpływ czynników ludzkich na wiarygodność wyników badań nieniszczących

The impact of human factors on the reliability of non-destructive test results

ABSTRACT

NDT is usually a special process. The effects of special processes are highly dependent on the control of their processes and the skills of the operators. Operators, as humans, are prone to errors that have a negative impact on the reliability of NDT. It is necessary the knowledge of types of errors committed by the operators and their causes, which will help to improve this reliability.

Most information of this knowledge, including the source of errors, are freely available, but often ignored by the NDT community.

Knowledge about the so-called human factors affecting the reliability of the NDT results have been built up over the years, and this paper is a collection of information from this field based on bibliographic data and own experience.

Keywords: reliability, uncertainty, competence, human factor

STRESZCZENIE

Badania nieniszczące zalicza się zwykle do procesów specjalnych. Efekty procesów specjalnych zależą w bardzo dużym stopniu od kontroli ich przebiegu oraz umiejętności operatorów. Operatorzy zaś, jak ludzie, mają skłonności do popełniania błędów mających negatywny wpływ na wiarygodność NDT. Konieczna jest wiedza o rodzajach błędów popełnianych przez operatorów i ich przyczynach, która pozwoli na poprawę tej wiarygodności. Choć większość informacji, w tym źródła błędów, są łatwe do pozyskania, to jednak częstokroć są ignorowane przez środowisko NDT. Wiedza na temat tzw. czynników ludzkich mających wpływ na wiarygodność wyników w NDT była budowana przez lata, a artykuł niniejszy stanowi zbiór informacji z tego zakresu na podstawie danych literaturowych i własnego doświadczenia.

Słowa kluczowe: wiarygodność, niepewność, kompetencje, czynnik ludzki

1. Wprowadzenie

Co wykrywamy metodami nieniszczącymi? Niedoskonałości, nieciągłości, wady? Rozważmy różnice pomiędzy powyższymi pojęciami. Każde odchylenie od stanu idealnego obiektu stanowi niedoskonałość. Może to być przerwanie fizycznej ciągłości w materiale, nazywane nieciągłością lub odchylenia zewnętrzne, np. wymiarowe. Jeśli przyjrzylibyśmy, że każda niedoskonałość jest wadą i stanowi, że wyrób jest "wadliwy", to nawet najmniejsze przemieszczenie kryształów w metalowej strukturze mogłoby być interpretowane jako "wada". Niewiele wyrobów, a może żadne, nie byłyby użyteczne, gdyby przyjąć taką definicję wady. Zatem należy brać pod uwagę pewne praktyczne względy. Wada jest niezgodnością z pewnymi przyjętymi wymaganiami wartościami parametrów określających dany wyrób. Jest ona często definiowana jako odstępstwo od przyjętych wymagań. W przypadku wyrobów badanych metodami nieniszczącymi mamy do czynienia z wadami fizycznymi. Kodeks cywilny w art. 5561 [1] podaje, że „wada fizyczna polega na niezgodności rzeczy sprzedanej z umową.

W szczególności rzecz sprzedana jest niezgodna z umową, jeżeli:

- 1) nie ma właściwości, które rzecz tego rodzaju powinna mieć ze względu na cel w umowie oznaczony albo wynikający z okoliczności lub przeznaczenia;
- 2) nie ma właściwości, o których istnieniu sprzedawca zapewnił kupującego, w tym przedstawiając próbkę

lub wzór;

- 3) nie nadaje się do celu, o którym kupujący poinformował sprzedawcę przy zawarciu umowy, a sprzedawca nie zgłosił zastrzeżenia co do takiego jej przeznaczenia;
- 4) została kupującemu wydana w stanie niezupełnym.”

W tym miejscu należy podkreślić, jak istotne w sensie prawnym ma powszechne używanie pojęcia wady. Nie każda wykryta niedoskonałość jest wadą. Bardzo istotne jest każdorazowe ustalenie kryteriów akceptacji, czyli wartości powyżej których niedoskonałość należy zakwalifikować jako wadę. Używanie pojęcia "wada" ma konotacje prawne, w szczególności, gdy jest związane z zagadnieniami odpowiedzialności za wyrób. Należy więc używać terminu „wada” z największą ostrożnością. Wśród wad można wyróżnić:

- 1) wadę istotną, czyli taką, która nie pozwala na wykorzystanie produktu lub też utrudnia jego wykorzystanie
- 2) wadę mało istotną, która posiada względnie niewielki wpływ na to jak będzie funkcjonował dany produkt i nie zmniejsza znacząco możliwości użytkowania wyrobu
- 3) wadę krytyczną, która może doprowadzić do pojawienia się warunków, w których użytkowanie było by niebezpieczne albo zmniejszyć możliwości konkretnych funkcji wyrobu

Jest jeszcze jedna istotna sprawa. Różnica między pojęciami wada a niezgodność. Przedstawiono to na przykładzie:

- 1) jeśli przyjąć np. blachę walcowaną stosowaną do budowy urządzeń ciśnieniowych, to musi ona spełnić wymagania kryterialne, jakie określono np. w normie

*Autor korespondencyjny. E-mail: kontakt@test-expert.pl

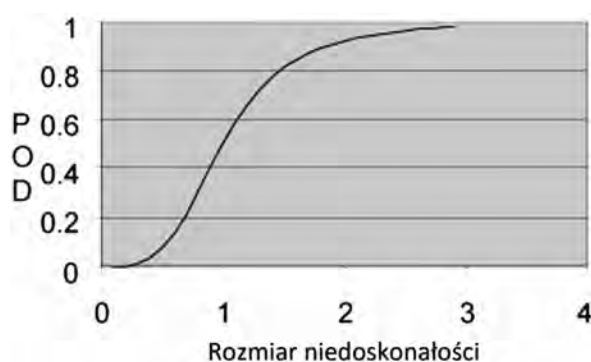
zharmonizowanej z dyrektywą PED dla materiałów stosowanych do budowy takich urządzeń, a występujące w blasze „niedoskonałości” będą wadami, jeśli przekroczą pewne wartości kryterialne pod względem rodzaju, położenia, orientacji i wielkości.

- 2) jeśli ta sama blacha walcowana nie ma określonego z góry zastosowania, a więc nie ustalono kryterium tej oceny, to występujące w niej „niedoskonałości” są „niezgodnościami” w stosunku do ogólnie przyjętych wymagań i dobrej praktyki inżynierskiej.

Każdorazowo, przed przystąpieniem do badania obiektu metodami nieniszczącymi konieczne jest ustalenie, jaki jest cel badania: wykrycie niedoskonałości czy wykrycie wad.

2. Co ma wpływ na wiarygodność wyniku ndt?

Wyróżnić można szereg czynników mających wpływ na wiarygodność wyniku NDT, która wiąże się bezpośrednio z prawdopodobieństwem wykrycia niedoskonałości metodą NDT, do których należą m.in.: rodzaj, położenie, orientacja i wielkość samej niedoskonałości, stosowana metoda / technika badania, czułość stosowanej metody / techniki, czynnik ludzki.



Rys. 1. Krzywa POD
Fig. 1. POD curve

Do ceny wiarygodności systemu badań nieniszczących przyjęto następujące podejście [3]: przed przystąpieniem do badania obiektu konieczne jest określenie rzeczywistego poziomu wymagań bezpieczeństwa. Następnie należy wskazać wszystkie istotne parametry wpływające na bezpieczeństwo. Pozwala to na ocenę jakościową sposobu obniżenia ryzyka lub ilościową za pomocą prawdopodobieństwa wykrywania (POD). POD pozwala oszacować minimalny rozmiar niedoskonałości, który będzie niezawodnie wykrywalny daną techniką NDT. Najczęściej używanym narzędziem do opisu POD jest krzywa POD. Rysunek 1 ilustruje modelową krzywą POD jako zależność prawdopodobieństwa wykrycia od rozmiaru niedoskonałości. Niekiedy podejmowane są próby tworzenia integralnego „volume POD” na podstawie pojedynczych POD, co stanowi zbiór danych dla danego obiektu. Jest to istotną zaletą dla użytkownika obiektu [2].

Spośród czynników wpływających na wiarygodność NDT, czynniki ludzkie są bardzo ważne.

3. Czynniki ludzkie

Badania nieniszczące zalicza się zwykle do procesów

specjalnych. Efekty procesów specjalnych zależą w bardzo dużym stopniu od kontroli ich przebiegu oraz kompetencji operatorów. Operatorzy zaś, jako ludzie, mają skłonności do popełniania błędów mających negatywny wpływ na wiarygodność NDT. Konieczna jest wiedza o rodzajach błędów popełnianych przez operatorów i ich przyczynach, która pozwoli na poprawę tej wiarygodności. Większość informacji z zakresu tej wiedzy, w tym źródła błędów, są łatwe do pozyskania, to jednak częstokroć są ignorowane przez środowisko NDT. Czynniki ludzkie oznaczają znacznie więcej niż kompetencje (tj. wiedza, umiejętności i doświadczenie) lub zmęczenie danej osoby. Jak należy rozumieć pojęcie „czynniki ludzkie”? Spośród wielu definicji wybrano definicję, jaką podaje HSE [3]. Są to: czynniki środowiskowe, organizacyjne i zawodowe oraz ludzkie i indywidualne cechy wpływające na zachowanie w pracy lub „Zbiór cech psychicznych i fizycznych osób, ich szkolenie i doświadczenie oraz warunki, w jakich musi działać osoba, która ma na wpływ na zdolność systemu NDT do osiągnięcia zamierzonego celu”.

Na podstawie badań nad wpływem czynnika ludzkiego na wiarygodność wyników NDT, a tym samym na bezpieczeństwo eksploatacji badanych urządzeń [4], stwierdzono, że zależą one od indywidualnych błędów ludzkich w zakresie czynników społecznych i technicznych oraz wewnątrzorganizacyjnych. Czynniki te są związane z:

- 1) cechami indywidualnymi: osobowością, wiedza, umiejętnościami, doświadczeniem, umiejętnością podejmowania decyzji, motywacją
- 2) zadaniami: trudnością, technologią, automatyzacją, obciążeniem pracą
- 3) pracą w zespole: pracą zespołową, zasadą „czterech oczu”,
- 4) warunkami środowiskowymi: temperaturą, hałasem, promieniowaniem, presją czasu, przerwami w pracy,
- 5) organizacją pracy: motywacją do pracy, informacją zwrotną, szkoleniem, normami / procedurami, kulturą organizacyjną, presją organizacyjną, odpowiedzialnością.

Na rysunku 2 wyspecyfikowano czynniki wpływające na wiarygodność NDT

3.1 Cechy indywidualne operatora

Uważność. Operator może wpływać na niezawodność badania poprzez kompetencje, osobisty charakter, stan i postawę, ich kompetencje i motywację. W początkach lat 90. przeprowadzono eksperyment i porównano wyniki wykrywania niedoskonałości metodą UT przez operatorów w warunkach laboratoryjnych i symulowanym środowiskiem przemysłowym [5].

Wyniki wykazały znaczne różnice w zdolności wykrywania z dnia na dzień, a nawet od rana do popołudnia. Różnice te powstały głównie ze względu na różnice w liniach skanowania i sprzężenia głowica – powierzchnia obiektu. Utrata uwagi spowodowała pominięcie wskazania lub inspektor „zgubił” linię skanowania, co dotyczyło pierwszych pięciu dni. Po dwudniowej przerwie wznowiono badania zwiększając czułość badania. Efekt zmęczenia nadal był widoczny, ale prawdopodobieństwo wykrycia wzrosło. W 2000 r.

CECHY INDYWIDUALNE Osobowość Szkolenie Umiejętności Doświadczenie Podejmowanie decyzji Motywacja		WARUNKI ŚRODOWISKOWE Temperatura Hałas Promieniowanie Presja czasu Przerwy
ZADANIE Trudność Technologia Automatyzacja Obciążenie pracą		
ZESPÓŁ Praca grupowa Redundancja (zasada czterech oczu)		

Rys. 2. Czynniki mające wpływ na wiarygodność wyników NDT
Fig. 2. Factors affecting the reliability of NDT results

uniwersytet Cambridge badał wpływ zmęczenia na pracę osób oceniających jakość obiektów na podstawie radiogramów. Stwierdzono, że po 30 minutach pracy w wyniku zmęczenia oczu pogarszała się wykrywalność.

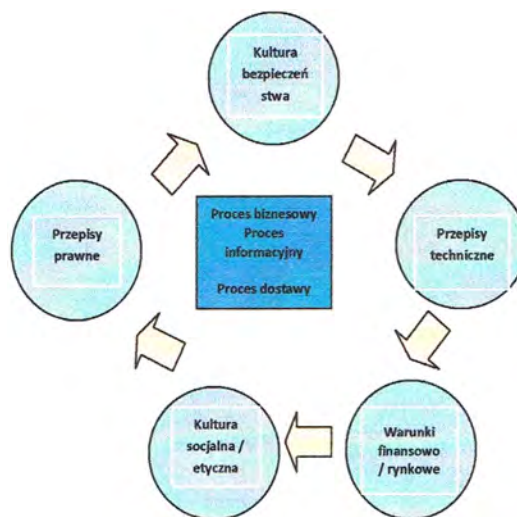
Kompetencje. Przez wiele lat w wielu popularnych badaniach nieniszczących wykonywano wiele badań porównawczych w trybie „round robin” w celu porównania wykrywania niedoskonałości przez operatorów wykonujących NDT, posiadających potwierdzone kompetencje wg takich samych wymagań (norm) przez różne jednostki kwalifikujące / certyfikujące. Stwierdzono różnice w wykrywalności, zwłaszcza w trudniejszych przypadkach, charakterystycznych dla konkretnych wyrobów. Sposobami na poprawę sytuacji okazały się odpowiednie szkolenia specjalistyczne, stanowiskowe oraz poprawa procedur badawczych, dostosowanych do konkretnych wyrobów i najczęściej spodziewanych niedoskonałości [5].

Działania takie poprawiły dwukrotnie częstość wykrywania skomplikowanych niedoskonałości o złożonej geometrii. W przypadku niedoskonałości mniejszych, o prostszej geometrii, poprawa była mniejsza. Podobne stwierdzenia uzyskano podczas PT techniką fluorescencyjną w lotnictwie [6]. Szkolenie, aby było skuteczne, powinno dotyczyć postępowania w kolejnych etapach: przygotowania obiektu, rodzaju spodziewanych niedoskonałości, dostępu, badania, decyzji, reakcji na sytuację. Obserwacje projektu opisanego w [2] wskazują, jak poprawić skuteczność szkolenia. Operatorzy powinni zrozumieć metodologię, a w szczególności trzymać się zasad:

- 1) przeglądaj procedury i uzyskuj wyjaśnienia,
- 2) „kiedy zdecydowałeś się na metodologię, trzymaj się jej”,
- 3) oceniaj wszystkie zarejestrowane wskazania,
- 4) sporządź szczegółowy raport,

Zalecano, aby skupiać się na identyfikacji i rozwijaniu u operatorów mechaniczne rozumowania, co pozwala uzyskać zdolność stosowania określonych zasad do nowych sytuacji [2].

Osobowość. Przeprowadzono testy [2], które wykazały, że lepsze wyniki operatora związane były z niższymi ocenami w skali osobowości mierzonymi ostrożnością i oryginalnością myślenia. Nie jest łatwo wpływać na świadomość, ale możliwe jest postępowanie zmierzające do eliminowania w miarę możliwości negatywnego wpływu na wiarygodność badania poprzez rozwijanie świadomości. Ważne jest rozwijanie w operatorach samoświadomości, aby mogli rozpoznać, kiedy postępują nierozważnie i kiedy jako jednostki stosują procedury, które nie są zgodne z odpowiednimi przepisami / wymaganiami.



Rys. 3. Łańcuch komunikacyjny w NDT
Fig. 3. NDT communication chain

3.2 Zadanie

W praktyce NDT często wykonuje się w trudnych warunkach, które mogą obejmować wysoką temperaturę i wilgotność, słabe oświetlenie, wysoki poziom hałasu, trudny dostęp i trudne przestrzenie robocze, naciski czasowe i narażenie

na ekstremalne warunki pogodowe oraz promieniowanie. W pracy Dickens'a i Bray'a [7] sugeruje się, że im zadanie jest bardziej złożone, tym czynniki środowiskowe bardziej obniżają wiarygodność.

Stwierdzono również, że długotrwała praca w typowym środowisku przemysłowym może powodować zmęczenie i demotywację, które mogą znacznie obniżyć wiarygodność [2]. Efekty wpływające niekorzystnie na wiarygodność wyników wzrastają w hałasie i wysokiej lub niskiej temperaturze oraz w warunkach ograniczeń czasowych [6]. Pisemna procedura to kolejne źródło ewentualnych błędów, jeśli nie zawiera ona informacji, jak najlepiej komunikować się w sprawach istotnych dla operatora. Wykazano, że brak komunikacji lub niewłaściwa komunikacja może mieć znaczny wpływ na poziom błędów [6]. Zarejestrowano również, że operatorzy nie czytają w pełni procedury i mogą stosować tylko ich część [2]. Pisemne procedury powinny być przeglądane i weryfikowane w miarę potrzeby, a wszelkie zmiany komunikowane operatorom. Kolejnym czynnikiem będącym źródłem błędów jest automatyzacja, która może być niewłaściwie obsługiwana lub niewykorzystywana [8]. Niewłaściwe użycie ma miejsce, gdy operatorzy bezkrytycznie przyjmują, że system działa prawidłowo nawet wtedy, gdy jest niewłaściwy. Niekiedy system automatyczny jest ignorowany, nawet jeśli jest poprawny, a operator zmienia np. poprawnie zidentyfikowany rozmiar niedoskonałości [9].

3.3 Organizacja pracy

Operatorzy często wykonują czynności, które nie dotyczą bezpośrednio wykonania badania, tzn. wykrywania niedoskonałości. Pracodawcy często oprócz wykonania badania i sporządzenia protokołu, zlecają operatorom takie czynności, jak zaplanowanie badania, opracowanie pisemnej procedury / instrukcji badania, dobór odpowiedniego wyposażenia do badań i techniki badania oraz zapewnienie lub samodzielne przygotowanie powierzchni do badania i dostępu do obszaru badania. Wynika to z braku wiedzy osób zarządzających badaniami o wymaganiach i najlepszych praktykach w NDT. Najłatwiej dostępnym źródłem informacji dla pracodawców operatorów NDT jest norma PN EN ISO 9712:2012, która jednoznacznie określa obowiązki pracodawcy oraz kompetencje operatorów w zależności od stopnia kwalifikacji [10]. Nie każdy stopień może wykonywać wszystkie ww. czynności. Przeprowadzono ankietę wśród firm NDT, [2], z której wynikało, że 21% respondentów powoływało się na normę ISO 9001 z 2015 roku [11] jako standard określający w art. 7.1.4 zagadnienia społeczne, psychologiczne i czynniki fizyczne. Pracując ściślej zgodnie z ISO 9001 lub innymi podobnymi normami, można uzyskać poprawę wiarygodności NDT.

3.4 Czynniki ludzkie i organizacja

W pracy [2] zidentyfikowano trzy procesy niemające charakteru NDT, biorących udział w relacjach pomiędzy dostawcą i odbiorcą NDT. Są to: proces biznesowy, proces informacyjny i dostawy NDT, jak przedstawiono na rysunku 3. Wszystkie trzy procesy mają wpływ na operatora i wiarygodność badania. Rysunek 3 przedstawia łańcuch

komunikacyjny pomiędzy dostawcą – wykonawcą i stopniem III i operatorem - a klientem NDT. Łańcuch ten powinien być starannie zaprojektowany.

4. Podsumowanie

- 1) Określenie niezawodności badania NDT wymaga znajomości wymagań dotyczących bezpieczeństwa eksploatacji i ekonomiki.
- 2) Należy wziąć pod uwagę jakościowe i ilościowe znaczenie każdego z wymagań.
- 3) Wykorzystuje się krzywe POD oraz procesy wspomagające POD.
- 4) Bardzo istotne jest uwzględnianie czynników ludzkich i organizacyjnych na wiarygodność NDT.
- 5) Czynniki ludzkie powinny być głęboko badane w aspektach psychologii pracy w celu zoptymalizowania warunków pracy, szkolenia specjalistycznego, procedur badawczych i działań przygotowawczych.
- 6) Zadaniem pozyskania szczegółowej wiedzy o wpływie czynników ludzkich na wyniki konkretnego badania jest zminimalizowanie różnic pomiędzy modelową niezawodnością a niezawodnością w warunkach terenowych.

5. Literatura/References

- [1] Ustawa z dnia 23 kwietnia 1964 r. - Kodeks cywilny (Dz. U. z 1964 r. Nr 16, poz. 93)
- [2] C. Müller, M. Bertovic, D. Kanzler, T. Heckel, M. Rosenthal, R. Holstein, U. Ronneteg, J. Pitkanen, "Assessment of the Reliability of NDE: A Novel Insight on Influencing factors on POD and Human Factors in an organizational Context", in 11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014), Prague, October 6-10, 2014.
- [3] "Reducing error and influencing behaviour. Human Factors and Ergonomics. HSE Books", [Online]. Available: <http://www.hse.gov.uk/pubns/books/hsg48.htm>. [Accessed: 22- Feb- 2016]
- [4] R. Holstein, "Organizational Practice Of NDT In Service Inspection Companies", in 11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014), Prague, October 6-10, 2014.
- [5] R. Murgatroyd, G. Worrall, S. Crutzen, "Lessons Learned from the PISC III Study of the Influence of Human Factors on Inspection Reliability", in 6th European Conference on Non-Destructive Testing, Nice, 1994.
- [6] C. Dury, "Aging Aircraft Fleets: Structural and Other Subsystem Aspects", RTO AVT Lecture Series held in Sofia, Bulgaria, November 13-16, 2000, published in RTO EN-015/AVT-053, Research and Technology Organization, March 2001.
- [7] J. Dickens, D. Bray, "Human Performance Considerations in Non-destructive Testing", Materials Evaluation, vol. 52, no. 9, pp. 1033-1041, 1994.
- [8] M. Bertovic, "Human Factors in Non-Destructive Testing (NDT): Risks and Challenges of Mechanised NDT", Ph.D. dissertation, Technische Universität Berlin, 2015. Available: <https://opus4.kobv.de/opus4-tuberlin/frontdoor/index/index/docId/7129>. [Accessed: 26- Feb- 2016]
- [9] R. Parasuraman, V. Riley, "Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse", Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, vol. 39, no. 2, pp. 230-253, 1997. DOI 10.1518/001872097778543886
- [10] PN-EN ISO 9712:2012, Badania nieniszczące – Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących.
- [11] PN-EN ISO 9001:2015, Systemy zarządzania jakością – Wymagania.

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.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.ptbnidt.pl.

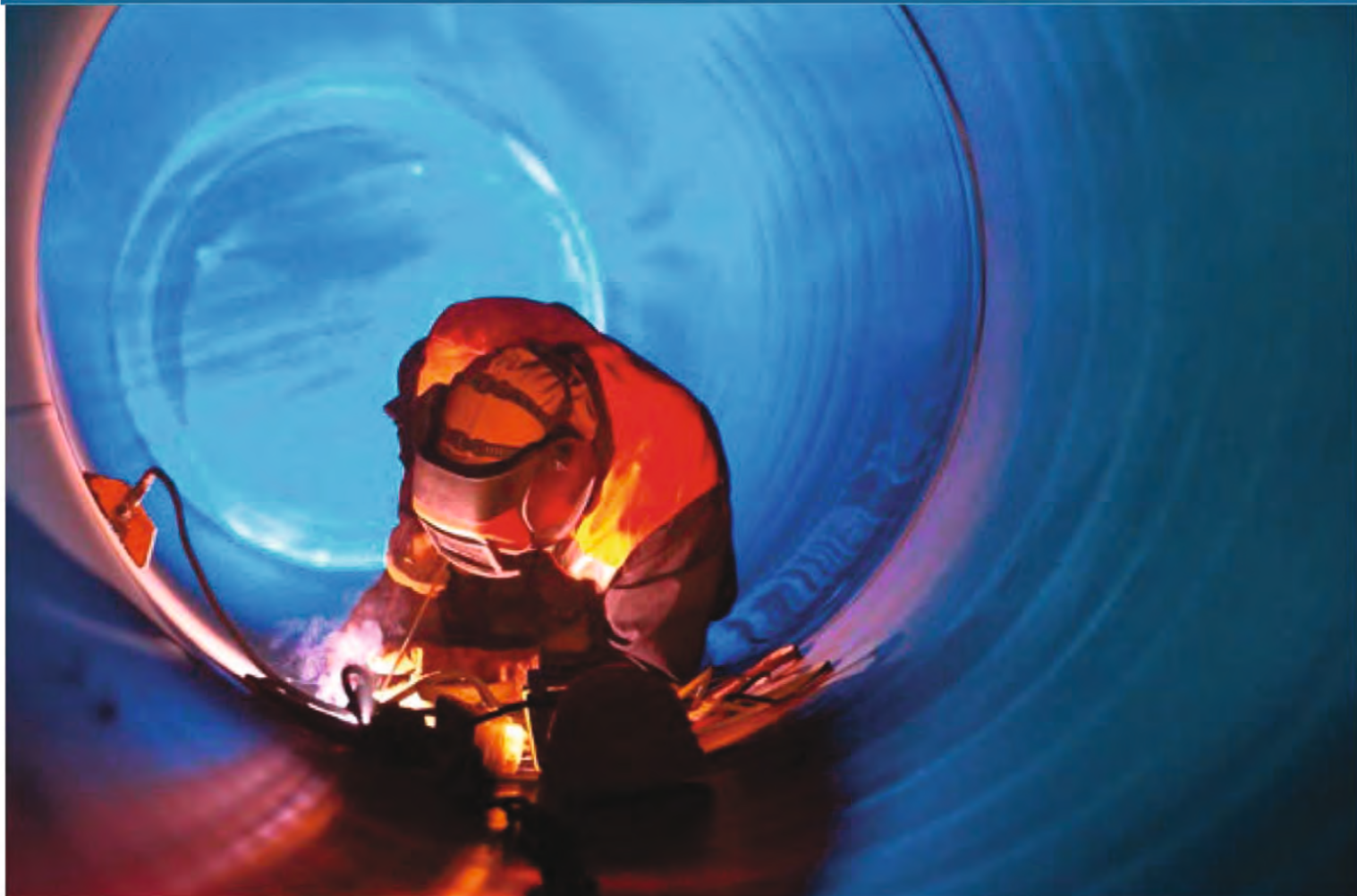
PRENUMERATA

Wydania dostępne w prenumeracie: 1–2/2017 (kwiecień); 3/2017 (wrzesień/październik); 4/2017 (grudzień):

- **prenumerata instytucjonalna:** Kolporter spółka z ograniczoną odpowiedzialnością s.k.; infolinia: 0801 40 40 44;
- **prenumerata indywidualna:** RUCH S.A.; telefon kontaktowy: 22 693 70 00, 801 800 803; e-mail do zamawiania prenumeraty: prenumerata@ruch.com.pl; (numer konta jest generowany dla każdego klienta indywidualnie po złożeniu zamówienia).

Wysoka rozdzielczość do kontroli spoin i innych celów

Skaner radiografii komputerowej CR



Inspection Technologies

CRxVision

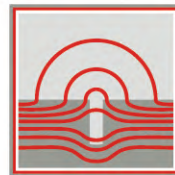
Wyposażony w innowacyjne funkcje zwiększające przepustowość, wydłużające żywotność płyty i dające doskonałą jakość obrazu, skaner CRxVision jest przeznaczony specjalnie do kontroli spoin. Skaner spełnia surowe wymagania normy ISO 17636-2 klasa A i B, a także norm ASTM, ASME EN dla spoin. Dzięki swojej wszechstronności może być także używany do wielu innych zastosowań w obszarze badań nieniszczących.



NDT System, www.ndt-system.com.pl, tel. +48 22 8325030, email: ndt-sys@ndt-system.com.pl

MR® – BADANIA MAGNETYCZNO-PROSZKOWE

PRODUKTY O PONADPORZECIĘTNYCH WSKAZANIACH



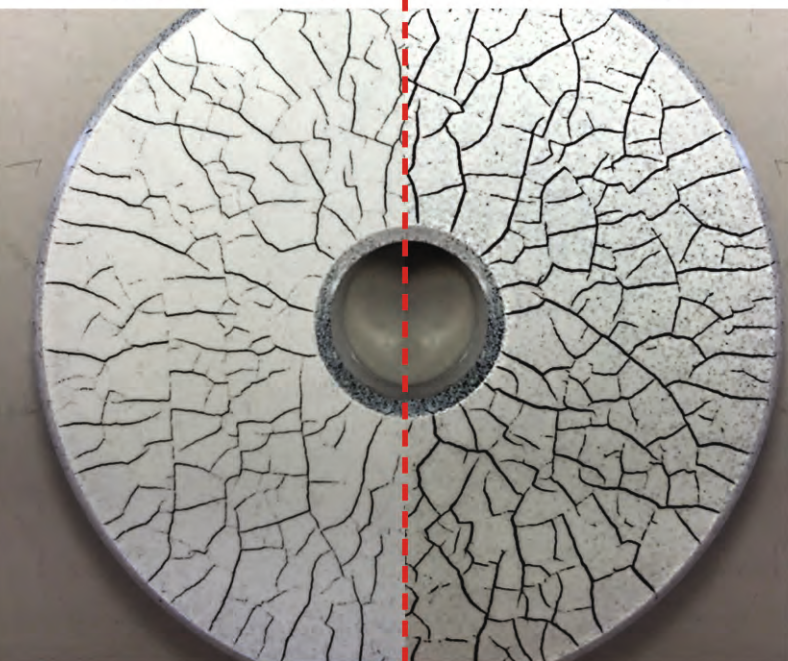
Różnorodność zawiesin dopasowana do preferencji klienta i warunków zewnętrznych podczas badania:

- chropowatość powierzchni
- kolor fluorescencji
- warunki zaciemnienia
- wielkość ziarna & sedimentacja

Nowe produkty, które zapewniają wyższy kontrast przy minimalnym tle

poprzednia wersja

nowa wersja



WIELE
RÓŻNYCH
ZAWIESIN
DOSTĘPNYCH
W WERSJI
EKO-LINE.

Oleje
nośnikowe
z wyższym
punktem
zapłonu



Pohl & Pohl Sp.z.o.o.
Raciborz (Poland)
Tel. + 48 32 418 20 00
post@ndt.pl
www.ndt.pl

MR® Chemie GmbH
Unna (Germany)
Tel. + 49 (0) 23 03 951 51 - 0
post@mr-chemie.de
www.mr-chemie.de

