Badania Nieniszczące i Diagnostyka

Kwartalnik Naukowo-Techniczny

Nondestructive Testing and Diagnostics



Szkolenia, egzaminy i certyfikacja personelu NDT





NOWOŚĆ – SZKOLENIA DOFINANSOWANE!

www.tuv.pl









Precyzyjne pomiary z modelowaniem 3D

Nowe spojrzenie na stereoskopowe pomiary inspekcyjne wideoskopem IPLEX NX

Trójwymiarowa (3D) prezentacja mierzonych obiektów umożliwia uwidocznienie – pod różnymi kątami – szczegółów niewidocznych na obrazach dwuwymiarowych (2D). Teraz jeszcze łatwiej można zweryfikować dokładne położenie punktów pomiarowych, co zwiększa niezawodność i eliminuje konieczność powtarzania pomiarów.



Zwiększona pewność pomiarów

- Modelowanie 3D pozwala na przejrzyste przedstawienie skomplikowanych kształtów
- Natychmiastowe potwierdzanie punktów przyspiesza inspekcję
- Już za pierwszym razem wybierasz właściwe punkty



Łatwe wyznaczanie linii referencyjnych

- Obrazy 3D ułatwiają wyznaczanie linii odniesienia na skomplikowanych obiektach, takich jak krawędź łopatki turbiny
- Mniejsze ryzyko nieprawidłowego ustawienia



Zaawansowane pomiary głębokości

- Błyskawiczne potwierdzanie
 płaszczyzn referencyjnych
- · Błyskawiczne potwierdzanie najwyższych i najniższych punktów
- Błyskawiczne wyniki zaawansowany pomiar głębokości

WYDAWCA/PUBLISHER



Badania Nieniszczące i Diagnostyka Agenda Wydawnicza SIMP ul. Sabały 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 Tomasz Chady

Z-CA REDAKTORA NACZELNEGO DS. NAUKOWYCH / DEPUTE EDITOR-IN-CHIEF OF SCIENTIFIC AFFAIRS Jerzy Nowacki

Z-CY REDAKTORA NACZELNEGO / DEPUTES EDITOR-IN-CHIEF Grzegorz Psuj - Sekretarz Naukowy / Scientific Secretary Adam Sajek

Ryszard Pakos

REDAKTOR JĘZYKOWY / EDITOR OF LANGUAGE AFFAIRS Marcin Żytkowiak

REDAKTORZY DZIAŁOWI / SECTION EDITORS

METODOLOGIA BADAŃ / RESEARCH METODOLOGY

Dr Sławomir Mackiewicz, Dr Marek Śliwowski

CERTYFIKACJA W BADANIACH / CERTIFICATION IN RESEARCH Mgr Bogdan Piekarczyk, Mgr Marta Wojas URZĄDZENIA I SYSTEMY BADAŃ / EQUIPEMENT AND SYSTEMS FOR RESEARCH Dr Grzegorz Jezierski, Mgr Marek Lipnicki PRAKTYKA PRZEMYSŁOWA BADAŃ / PRACTICE OF INDUSTRIAL RESEARCH Dr Krzysztof Dragan, Mgr Darek Wojdała DIAGNOSTYKA / DIAGNOSTICS Dr Bogusław Ładecki, Dr Ryszard Nowicki MIĘDZYNARODOWA RADA PROGRAMOWA

/ INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Ryszard Sikora, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie Przewodniczący/President Prof. Krishnan Balasubramaniam, Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India Prof. Alexander Balitskii, National Academy of Science of Ukraine, Ukraine Prof. Gilmar F. Batalha, University of Sao Paulo, Brasil Prof. Leonard J. Bond, Iowa State University, USA Dr Pierre Calmon, CEA, France Prof. Ermanno Cardelli, Università degli Studi di Perugia, Italy Prof. Zhenmao Chen, Xi'an Jiaotong University, China Prof. Leszek A. Dobrzański, World Academy of Materials and Manufacturing Eng., Polska Dr Hubert Drzeniek, AMIL Werkstofftechnologie GmbH, Germany Prof. Antonio Faba, Università degli Studi di Perugia, Italy Prof. Nikolaos Gouskos, University of Athens, Grece Mgr Paweł Grześkowiak, UDT, Polska Prof. Jerzy Hoła, Politechnika Wrocławska, Polska Prof. Jolanta Janczak-Rusch, Empa, Switzerland Mgr Ryszard Jawor, Ryszard Jawor Usługi NDT, Polska Dr Grzegorz Jezierski, Politechnika Opolska, Polska Inż. Sławomir Jóźwiak, 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. Zinoviy 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, Istituto 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. Skalskyy, National Academy of Science of Ukraine, Ukraine
- Prof. Jacek Słania, Instytut Spawalnictwa w Gliwicach, Polska Prof. Jacek Szelążek, IPPT PAN, Polska

Prof. Jacek Szelązek, IPPT PAN, Polska Prof. Andrzej Szymański, Politechnika Śląska, Polska

Dr Marek Śliwowski, NDTEST 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 Udpa, Michigan State University, USA

- Prof. Gábor Vértesy, Hungarian Academy of Sciences, Hungary
- Dr Grzegorz Wojas, UDT, Polska
- Prof. Sławomir Wronka, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Polska

Prof. Chunguang Xu, Beijing Institute of Technology, China

Prof. Noritaka Yusa, Tohoku University, Japan

KWARTALNIK NAUKOWO-TECHNICZNY AGENDA WYDAWNICZA SIMP

Badania Nieniszczące i Diagnostyka

Nondestructive Testing and Diagnostics

ISSN 2451-4462

VOLUMEN 4

SPIS TREŚCI

NR 3/2019

	Małgorzata Banach, Ewa Krawczyk, Krzysztof Schabowicz, Adam Sterniuk Komputerowa analiza wyników otrzymanych z tomografu ultradźwiękowego*4
	Tomasz Gorzelańczyk, Krzysztof Schabowicz, Zbigniew Jurasz, Piotr Michałek, Agnieszka Piczak, Janusz Juraszek Wpływ badań starzeniowych na płyty włóknisto-cementowe oceniany metodami nieniszczącymi*10
	Ewa Krawczyk, Krzysztof Schabowicz, Adam Sterniuk Przykłady zastosowania metody tomografii ultradźwiękowej w badaniach wtrąceń w elementach betonowych*
	Leonard Runkiewicz Stosowanie metod nieniszczących przy remontach, modernizacjach i wzmocnieniach obiektów budowlanych*
	Lista recenzentów w roku 201827
,	Isman Khazi, Andras Kovacs, Vaibhav Kumar, Pranav Dhumal, Ulrich Mescheder Microfabricated 2D planar eddy-current microcoils for the non-destructive testing of grinding burn marks*
1	Łukasz Sarniak, Maciej Szwed, Aleksandra Krawczyk, Mateusz Andraczke, Andrzej Zagórski Wdrożenie technologii zautomatyzowanej kontroli jakości pierścieni i obręczy, przeznaczonych dla producentów taboru kolejowego, metodą ultradźwiękową*
	Bogdan Zając, Grzegorz Olszewski, Natalia Piotrowska Ocena szerokości szczeliny dylatacyjnej w blokach grafitowych reaktora Maria*
	Informacje dla Autorów i Czytelników

REKLAMY NA OKŁADCE

REKLAMY W NUMERZE

SHIM-POL Sp. J.....

41

TÜV Rheinland1	TESTING Sp. z o.o.	2
OLYMPUS2	48. KKBN	3
Instytut Spawalnictwa3	ZBM Ultra Sp. z o.o	9
Teleskop Sp. z o.o 4	PCB Service Sp. z o.o	. 14
	ITWL	. 20
	ITA Sp. z o.o	. 28
	Instytut Spawalnictwa	. 36

* - artykuł recenzowany

PATRONAT I STAŁA WSPÓŁPRACA /PATRONAGE AND PERMANENT COOPERATION











radiograficzną magnetyczno-proszkową prądów wirowych penetracyjną

oraz aparaturę do pomiarów: twardoci, gruboci powłok i szczelnoci.

W kompleksowy sposób wyposażamy laboratoria w sprzęt i materiały eksploatacyjne do **badań metalograficznych**. Biuro nasze prowadzi poradnictwo, sprzedaż oraz autoryzowany serwis w zakresie produktów w/w firm.

Firma nagrodzona za działalność w dziedzinie badań nieniszczących



40 - 065 Katowice, ul. Mikołowska 100 tel. (32) 757 45 97, fax (32) 757 48 15 e-mail: testing@testing.pl, www.testing.pl







48. Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących

W tym roku mamy przyjemność spotkania się na kolejnej 48. Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących.

Zarząd Główny PTBNiDT powierzył organizację tej konferencji Oddziałowi Katowickiemu Towarzystwa, a bardziej regionalnie, Śląskiemu Oddziałowi Towarzystwa.

Organizatorzy konferencji:

Komitet Organizacyjny 48.KKBN

Przewodniczący: Dariusz Wojdała

Sekretarz: Jacek Pędras

Komisarz Wystawy: Jacek Urbańczyk

Członkowie:

Ryszard Jawor Janina Szmatloch Marian Drop Wojciech Szucio Patryk Uchroński



Przewodniczący: prof. dr hab. inż. Jacek Słania

Sekretarz: mgr inż. Marcin Matuszewski

Członkowie:

prof. dr hab. inż. Andrzej Ambroziak dr hab. inż. Krzysztof Dragan dr inż. Marcin Korzeniowski dr inż. Ryszard Krawczyk prof. dr hab. inż. Jerzy Nowacki dr hab. inż. Maciej Roskosz, prof. AGH prof. dr hab. inż. Leonard Runkiewicz dr hab. inż. Krzysztof Schabowicz, prof. PWr dr hab. inż. Jacek Szelążek



Organizatorzy dołożyli, w toku przygotowań, wszelkich możliwych starań, jak również przez najbliższe trzy dni trwania Konferencji będą się usilnie starać, aby Państwa pobyt w hotelu "Stok" w Wiśle przyniósł pozytywne wrażenia zarówno merytoryczne – sesje plenarne, warsztaty, wystawa sprzętu i usług NDT – jak również towarzyskie, wynikające z możliwości spotkania w szeroko pojętym środowisku badań nieniszczących.

Jako organizatorzy wierzymy, że opuszczając gościnną Wisłę będziecie Państwo wyjeżdżali z przeświadczeniem, że czas pobytu na 48.KKBN w hotelu "Stok" nie był czasem "straconym".

Życzymy owocnego pobytu. Witamy w Wiśle! Małgorzata Banach, Ewa Krawczyk, Krzysztof Schabowicz*, Adam Sterniuk Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej

Komputerowa analiza wyników otrzymanych z tomografu ultradźwiękowego

Computer analysis of received results from an ultrasound tomograph

ABSTRACT

This paper presents employment of modern computer methods used to analyze the results obtained during the exploration of concrete elements with an ultrasound tomograph. The results are presented in the form of graphical maps and depiction of the signal course function. The results are burdened with various, errors – noises, distortion of the image. Verification of results requires extensive knowledge, experience in the field of construction diagnostics, and also an ability to combine both: construction and computer methods. Therefore mathematical methods and computer programs become helpful. The perfect transformation for reconstruction and analysis of results seems to be wavelet analysis, which eliminates the weakness of the Fourier transform, which does not included the complete set of information while analysis is carried out.

Keywords: ultrasound tomography; non-destructive testing; wavelet analysis; computer methods

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wykorzystanie współczesnych metod komputerowych stosowanych do analizy wyników otrzymanych podczas badania elementów betonowych tomografem ultradźwiękowym. Rezultaty prezentowane są w postać map graficznych oraz zobrazowań funkcji przebiegu sygnałów. Otrzymane rezultaty są obarczone różnymi błędami – szumy, dystorsje obrazu. Weryfikacja wyników wymaga dużej wiedzy, doświadczenia w zakresie diagnostyki konstrukcji, a także umiejętności łączenia wiedzy z dziedziny budownictwa i metod obliczeniowych. Pomocne stają się wtedy metody matematyczne oraz programy komputerowe, umożliwiające ich zaimplementowanie. Idealnym przekształceniem służącym do rekonstrukcji i analizy rezultatów wydaje się być analiza falkowa. Niweluje ona słabość transformaty Fouriera, która nie zachowuje podczas analizy kompletu informacji.

Słowa kluczowe: tomografia ultradźwiękowa; badania nieniszczące; analiza falkowa; metody komputerowe

1. Wprowadzenie

W procesie badania niezawodności konstrukcji powszechnie stosowane są metody nieniszczące, które umożliwiają detekcję ewentualnych nieciągłości i ukrytych wad, a także wtrąceń, np. niewłaściwie rozmieszczonych prętów zbrojeniowych. Jedną z dostępnych metod dla takich badań jest tomografia ultradźwiękowa. Rezultatem badania są wyniki w postaci zobrazowań oraz funkcje sygnału. Istnieje wiele prac opisujących możliwości tej metody, takie jak określanie grubości elementów [1], dobieranie parametrów podczas prowadzonego badania [2], [3] czy wykrywanie wad znajdujących się na różnej głębokości [4]. Poza pracami na temat samej metody dostępne są również pozycje opisujące rekonstrukcję obrazów uzyskanych podczas badania [5]-[9], choć jest ich niewiele.

Analiza i interpretacja wyników otrzymanych podczas badań nieniszczących powiązana jest ściśle z doświadczeniem, wiedzą, a także techniką i metodami ich prowadzenia. Podstawowe algorytmy rekonstrukcji i analizy obrazu oparte są na transformacie Fouriera, transformacie Rodona, twierdzeniu rzutu Fouriera, metodzie projekcji wstecznej lub transformacie Cromacka. Istnieją również metody algebraiczne i statystyczne, które są pomocne przy rekonstrukcji. Są to przykładowo metoda iteracyjna lub metoda największego prawdopodobieństwa.

Ciekawą i mało rozpoznaną w tego typu badaniach jest

metoda transformaty falkowej. Tematyka ta jest mało przeanalizowana i rozpowszechniona, a jednocześnie, jak wykazują pilotażowe badania, bardzo skuteczna. Praca, która najszerzej opisuje zastosowanie teorii falek w diagnostyce jest publikacja [10], w której prezentowane są także podstawy teorii falek. Przedstawione jest tam również zastosowanie falek w aplikacjach o charakterze inżynierskim, związanych z przetwarzaniem sygnałów. Innymi publikacjami na temat teorii falek są [11] i [12]. Przedstawiają one podstawy tej teorii oraz skuteczność jej stosowania w analizach obrazów.

1.1 Aparatura badawcza

Do przeprowadzenia badania, na potrzeby pracy, wykorzystano tomograf ultradźwiękowy A1040 MIRA (Rys. 1). Opis tego urządzenia można odnaleźć między innymi w artykule [13]. Sposób działania tomografu przedstawiono w publikacji [14]. Urządzenie to stosowane jest do badań obiektów, które są wykonane z betonu, betonu zbrojonego lub kamienia. Podczas badania wykorzystuje się metodę pomiaru przysłony Ramana, w której badany jest "nacisk" fali ultradźwiękowej w każdym punkcie półprzestrzeni.

Dane zbierane są w tablicy, która jest tworzona w wyniku zbierania par informacji, pochodzących z nadajnika i odbiornika. Każde zobrazowanie otrzymane podczas badania jest rezultatem analizy fal poprzecznych, które są wysyłane i odbierane przez matrycę czterdziestu ośmiu głowic (Rys. 1b).

© 2019 Proceedings of 48th National Conference of Nondestructive Testing (KKBN), Wisła, Poland Published by "Badania Nieniszczące i Diagnostyka" SIMP Publishing Agenda DOI: 10.26357/BNiD.2019.008

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





Rys. 1. Tomograf ultradźwiękowy A1040 MIRA: a) widok od góry, b) widok od spodu, źródło: [14] **Fig. 1.** Ultrasound tomograph A1040 MIRA: a) top view, b) bottom view, source: [14]

1.2 Rodzaje plików otrzymanych z przeprowadzonego badania

Podstawowym wynikiem uzyskanym podczas badania tomografem ultradźwiękowym próbek betonowych, jest zobrazowanie w postaci mapy bitowej. Podczas eksperymentu wykorzystywany jest trójwymiarowy układ współrzędnych kartezjański. Punkt zerowy układu przyjmowany jest adekwatnie do aktualnego położenia urządzenia. Oś Y jest to oś skierowana zgodnie z dłuższym wymiarem tomografu. Zwrot tej osi skierowany jest od strony lewej do prawej. Oś Z zlokalizowana jest w głąb urządzenia, prostopadle do płaszczyzny XY. Po przeprowadzeniu badania otrzymuje się trzy prostopadłe skany:

- B-skan cięcie płaszczyzną prostopadłą do osi X;
- C-skan cięcie płaszczyzną prostopadłą do osi Z;
- D-skan cięcie płaszczyzną prostopadłą do osi Y.

Sterowanie urządzeniem podczas badania odbywa się zawsze według wcześniej założonej siatki podziału, wynikającej z przyjętego układu odniesienia.

2. Analiza falkowa

Falki są to rodziny funkcji określone na zbiorze liczb rzeczywistych. Każda z tych funkcji dąży do zera dla argumentu dążącego do nieskończoności oraz charakteryzuje się zerową wartością średnią. Falka powstaje poprzez przekształcenie tak zwanej falki matki, czyli funkcji macierzystej. Ponadto funkcje te różnią się od zera wyłącznie na małym odcinku, co pozwala na przybliżenie nimi praktycznie każdego sygnału z dowolną dokładnością poprzez tworzenie odpowiednich kombinacji. Dopasowanie do rozważanego sygnału odbywa się poprzez odpowiednie przesunięcie i skalowanie, co odzwierciedla wzór (1). We wzorze (1) stała $a^{\frac{1}{2}}$ służy do normalizacji falki.

$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \tag{1}$$

gdzie:

a– parametr skali, współczynnik kompresji

b – parametr przesunięcia (translacji)

2.1 Usuwanie szumu z grafiki przy zastosowaniu falek

Na zobrazowaniach otrzymanych z badania tomografem ultradźwiękowym pojawiają się losowe wtrącenia, różniące się od rzeczywistego obrazu jasnością bądź kolorem, co jest powszechnie znanym zjawiskiem nazywanym potocznie szumem, co pokazano na rysunku 2. Oznacza to, że pozbycie się szumu ułatwi interpretację kształtu wtrącenia, a także dokładniejsze określenie jego wymiarów.

W pracy wykonano odszumienie w trzech etapach. W pierwszym wykonano transformatę falkową do ostatniego poziomu rozdzielczości. W tym celu użyto falki Coiflets. Tego rodzaju falki używa się do eliminacji nieliniowego przesunięcia fazowego między sygnałem wejściowym, a wyjściowym. W kolejnym etapie zastosowano metodę progową na współczynnikach transformaty. Do algorytmu wybrano metodę progową Smooth Garrote. W końcowym etapie wykonano odwrotną transformatę falkową.



Rys. 2. Zaszumione zobrazowanie **Fig. 2.** Noisy illustration

2.2 Zastosowanie analizy falkowej w analizie obrazu – dekompozycja falkowa Mallata

Dyskretna analiza falkowa prowadzi do wyznaczenia współczynników falkowych sygnału, zwanych inaczej dyskretnymi transformatami falkowymi. W istocie są to iloczyny skalarne sygnału wejściowego f(t) i ciągu funkcji podstawowych Ψ_{mn} , co przedstawia wzór (2).

$$\Psi_{mn}(t) = a_0^{-m} \Psi(a^{-m}t - nb_0)_{(m,n)} \in Z^2$$
(2)

Przekształcenie dyskretne falki wyraża się wzorem (3).

$$DWT = a_0^{\frac{-m}{2}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\Psi(a^{-m}t - nb_0)dt$$
(3)

Aby możliwe było przetworzenie sygnału wejściowego na składowe należy wykorzystać analizę wielorozdzielczościową postaci (3). Dokonuje się w ten sposób dekompozycji na wielu poziomach rozdzielczości. Proces dekompozycji sygnału sprowadza się do wielopoziomowej iteracji, w wyniku której uzyskuje się kolejno po dwie składowe sygnału wejściowego. Jedną z nich nazywa się wielkoczęstotliwościową, czyli detalem D_j , natomiast drugą mało częstotliwościową, czyli aproksymacją A_j . Proces ten przedstawiono na rysunku 3, gdzie S oznacza sygnał wyjściowy, A_i aproksymaty (niskoczęstotliwościowe reprezentacje sygnału), a D_i detale (wysokoczęstotliwościowe reprezentacje sygnału).



Rys. 3. Drzewo dekompozycji **Fig. 3.** Decomposition tree

Jak widać wejściowy sygnał S został podzielony na dwa sygnały A_i i D_i , które zawierają dwukrotnie mniejszą liczbę próbek. Możliwe jest jednak zastosowanie algorytmu wstecznego i bezstratne odtworzenie obrazu. Przekształcenie obrazu O w reprezentację falkową jest opisane równaniem (4): $\Psi_{mn}(t) = a_0^{-m} \Psi(a^{-m}t - nb_0)_{(m,n)} \in Z^2$ (4)

Rekonstrukcja obrazu O jest otrzymywana z równania odwrotnego (5).

$$F = HOH^T$$
(5)

W matematycznym sensie dekompozycja polega na filtrowaniu dolno- oraz górnoprzepustowym, raz wzdłuż kolumn, raz wzdłuż wierszy obrazu, przy jednoczesnym dwukrotnym zmniejszaniu rozdzielczości. Równanie transformacji można zapisać macierzowo, używając falki *Haara*.

2.3 Histogramy

Za pomocą metod komputerowych, a dokładniej analizy obrazu binarnego można otrzymać histogramy sygnałów, co przykładowo pokazano na rysunku 4. Histogram jest to graficzne odwzorowanie jasności, intensywności danego piksela, które jest określone dokładnie w miejscu jego położenia. Można w ten sposób przedstawić skany otrzymane z tomografu ultradźwiękowego. W ten prosty sposób otrzymuje się lokalizacje miejsc nieciągłości, które charakteryzują się największym odbiciem fali. Jest to jednoznaczne z faktem, że miejsca te osiągną na histogramie największe wartości, gdyż obraz tam jest najjaśniejszy.



Rys. 4. Histogram wyznaczony na podstawi B-scanu otrzymanego podczas badania tomografem **Fig. 4.** Histogram determined on the basis of B-scan obtain during

the tomograph scan

3. Przykłady zastosowania opracowanej komputerowej metody interpretowania obrazów i sygnałów otrzymanych podczas badania tomografem ultradźwiękowym

W ramach eksperymentu przygotowano elementy betonowe o wymiarach 500 x 1000 x 1000 mm. Układ współrzędnych przyjęty był podczas badania w górnym, lewym rogu. Pierwszym etapem eksperymentu było ponumerowanie elementów. Ścianka, na której widniał numer uważana była za przednią (front). Następnie naniesiono na elemencie siatki podziału. Bok siatki miał wymiary 100 x 100 mm. Kolejno przeprowadzono badanie tomografem ultradźwiękowym. Do badania użyto tomografu ultradźwiękowego MIRA A1040. Prędkość fali ustalono doświadczalnie i wynosiła ona 2600 m/s. Celem badania była identyfikacja wtrąceń zabetonowanych w próbce, a dokładniej określenie rodzaju, kształtu i położenia elementów znajdujących się wewnątrz betonowej próbki. Każda próbka została przebadana w płaszczyznach równoległej i prostopadłej do ściany frontowej. Z każdym kolejnym pomiarem tomograf zostawał przesunięty o odległość jednego boku siatki.

BADANIA NIENISZCZĄCE I DIAGNOSTYKA 3 (2019) Nondestructive testing and diagnostics



Rys. 5. Zobrazowanie otrzymane: a) podczas badania, b) po usunięciu szumu z grafiki

Fig. 5. Image received: a) during the test, b) after removal of the noise from the graphic

Na rysunku 5a pokazano przykładowe zobrazowanie otrzymane podczas badania jednej z próbek betonowych, a na rysunku 5b to samo zobrazowanie po przeprowadzeniu odszumiania według algorytmu przedstawionego w punkcie 2.1.

W celu wykonania jak najlepszej analizy wyników najpierw przeprowadzono rozpoznanie współczynników falkowych, aby jak najlepiej dobrać falkę bazową. Przeprowadzono analizę w programie Matlab, która miała na celu wyznaczenie współczynników korelacji. Wartość współczynnika korelacji jest tym większa im lepiej dobrana została falka bazowa.

Falka	Współczynnik korelacji
Haar	0,9401
db2	0,9800
db3	0,9707
db4	0,9630
sym3	0,9707
sym4	0,9609
sym5	0,9624
cofi3	0,9872
cofi2	0,9836
bifor2	0,9827
bifor3	0,9679
bifor4	0,9609
rbio2	0,9706
dmey3	0,9737
dmey4	0,9710

Tab. 1. Współczynniki korelacji dla wybranych falek Tab. 1. Correlation coefficients for selected wavelets

Jak widać z tabeli 1 najlepszym dopasowaniem charakteryzuje się falka Coiflet. Następnie dokonano dekompozycji obrazów w celu określenia dokładnych wymiarów i kształtu przekroju zabetonowanego elementu. Dekompozycję przeprowadzono zgodnie z algorytmem opisanym w punkcie 2.2. Po analizie otrzymanych wyników, dla każdego zobrazowania otrzymanego podczas badania próbki, można stwierdzić, że zabetonowany element miał kształt rury okrągłej o średnicy około 30mm. Kształt ten jest niemal widoczny gołym okiem. Interpretacja jego nie byłaby jednak taka prosta, gdyby był bardziej złożony. Wtedy analiza obrazu po dekompozycji dałaby bardziej spektakularny rezultat. Badana próbka miała wymiary 500x1000x1000 mm. Aby upewnić się co do głębokości na jakiej była położona rura stworzono histogram 3D, pokazany na rysunku 6.





Fig. 6. Three-dimensional histogram of the imahes obtained from the ultrasound tomograph

Analizowane zobrazowanie dotyczyło obszaru próbki pomiędzy 600 mm a 800 mm licząc od górnego lewego rogu. Jak widać na histogramie największe odbicie nastąpiło 100 mm od początku badanego zakresu. Można więc stwierdzić, że badany element znajdował się 700 mm od prawego brzegu próbki. Po podobnej analizie dotyczącej położenia wertykalnego stwierdzono, że element znajduje się na głębokości 300 mm. Wnioski zweryfikowano ze zdjęciami wykonanymi podczas betonowania próbek, co przykładowo przedstawiono na rysunku 7. Po weryfikacji stwierdzono, że zarówno oszacowane położenie elementu, jak i jego kształt oraz charakterystyka geometryczna zostały poprawnie określone. Wyniki są bardzo dobrym odwzorowaniem rzeczywistości.



Rys. 7. Widok elementu podczas betonowania **Fig.** 7. View of the element during concreting

4. Wnioski

Badania nieniszczące, a w szczególności metoda tomografii ultradźwiękowej są przydatne zarówno w aspekcie wykrywania ewentualnych wtrąceń, nieciągłości czy defektów, jak i do sprawdzania niezawodności konstrukcji. Żeby jednak było to możliwe trzeba przeprowadzić badania zgodnie z instrukcjami i normami oraz posiadaną wiedzą techniczną, a następnie należy odpowiednio przeanalizować otrzymane rezultaty badań.

Istnieje wiele funkcji i przekształceń matematycznych, które umożliwiają analizę obrazów otrzymanych podczas badania tomografem ultradźwiękowym. Pozwalają one uzyskać dokładniejsze wyniki, wydobyć informacje na pierwszy rzut oka niewidoczne. Jednym z takich przekształceń jest analiza falkowa, która umożliwia analizowanie zarówno sygnałów jak i obrazów. Pozwala ona na poznanie bogatego zbioru funkcji bazowych, które jako całość tworzą sygnał. Jest to doskonałe przekształcenie do eksponowania miejsc zaburzeń, które w przypadku badania próbek betonowych mogą oznaczać występowanie defektów w postaci pęknięć lub wtrąceń, w tym prętów zbrojeniowych.

W artykule przedstawiono podstawowe przekształcenia falkowe służące do dokładniejszego poznania wnętrza elementów betonowych. Przedstawione algorytmy często prowadzą do wyników przedstawionych w postaci graficznej, co jest łatwiejsze do interpretacji przez ludzkie oko. Możliwe jest wtedy nie tylko dostrzeżenie miejsc ewentualnego zaburzenia, ale również określenie jego położenie. Poza tym analiza falkowa pomaga w diagnozowaniu szerokiego zakresu sygnału. Jedną z największych zalet tego przekształcenia jest wielostopniowość rozkładu. Oznacza to, że ułatwia poznanie bardzo bogatego zbioru funkcji bazowych, które w całości tworzą sygnał wyjściowy.

Jak widać połączenie badań nieniszczących, szczególnie tomografii ultradźwiękowej z metodami komputerowymi daje możliwość szerszej analizy wyników otrzymanych podczas eksperymentu.

5. Literatura/References

BADANIA NIENISZCZĄCE I DIAGNOSTYKA 3 (2019)

NONDESTRUCTIVE TESTING AND DIAGNOSTICS

- Kozlov V.N., Samokrutov A.A, Shevaldykin V.G., "Thickness measurements and flaw detection in consrete using ultrasonic echomethod", Journal of Nondestructive Testing and Evaluation, 1997
- [2] Samokrutov A.A., Shevaldykin V.G., "Ultrasonictomography of metal structure using digital focused antenna arraymethods", Russian Journel of NondestructiveTesting, 2011
- [3] Samokrutov A.A., Kozlov V.N., Shevaldykin V.G., "Ultrasonic testing of concrete objects using dry acoustic contact. Methods, instrumentsand possibilities", The 5thInternational Conference on Non Destructive Testing and Technical Diagnostics in Industry, Moskwa, 2006
- [4] Bishko A., "Improvement of imaging at small depths for acoustic tomography of reinforced concrete objects", The 6thInternational Conference on Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics in Industry, Mashinostroenie, Moskwa 2007
- [5] Schickert M., Krause M., "Ultrasonic techniques for evaluation of reinforced concrete – structures", Non-destructive Evaluation of Reinforced Concrete Structures, 2010
- [6] Schickert M., "Towards SAFT-Imaging in Ultrasonic Inspection of Concrete", International Symposium Non-Destructive Testing in Civil engineering, 1995
- [7] Śliwowski M., "Zmechanizowane systemy ultradźwiękowe do lokalizacji korozji wżerowej", XIV Seminarium Nieniszczące Badania Materiałów, Zakopane, 2008
- [8] Jian-Hua T., Chin-Lung Ch., Chung-Yue W., Shua-Tao L., "Influence of Rebars on Elastic - Wave Based SAFT Image for Detecting Void in Concrete Structure", International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Berlin, 2015
- [9] Bazulin E.G., "Determining the Flaw Type from Images Obtained by the C-SAFT Method with Account for Transformations of Wave Types upon Reflections of Ultrasonic Pulses from Irregular Boundaries of a Test Object", Russian Jouranal of Nondestructive Testing, Moskwa, 2010
- [10] Batko W., Ziółko M.: "Zastosowanie teorii falek w diagnostyce technicznej", Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, 2002
- [11] Chui C.K.: "An Introduction to Wavelets. Academic", Press, London 1992
- [12] Daubechies I.: "Ten Lectures on Wavelets", SIAM, Philadelphia 1992
- [13] De la Hoza A.O., Petersen C.G., Samokrutov A., "Three dimensional imaging of concrete structures using ultrasonic shear waves"
- [14] Oficjalna strona producenta aparatu A1040 MIRA http://www. acsys.ru/

Badania Nieniszczące i Diagnostyka

Nondestructive Testing and Diagnostics



Polska aparatura ultradźwiękowa dla wymagającego klienta



ZBM Ultra Sp. z o.o. ul.Zimowa 3, 55-003 Nadolice Małe NIP 897 180 82 00

www.ultra.wroclaw.pl

biuro@ultra.wroclaw.pl

+48 71 364 36 52

Tomasz Gorzelańczyk^{1*}, Krzysztof Schabowicz¹, Zbigniew Jurasz², Piotr Michałek², Agnieszka Piczak², Janusz Juraszek³

¹Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska ²Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. ³Wydział Inżynierii Materiałów, Budownictwa i Środowiska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsko-Białej

Wpływ badań starzeniowych na płyty włóknisto-cementowe oceniany metodami nieniszczącymi

The influence of aging tests on the process of destruction and changes in the structure of fibre-cement boards evaluated by non-destructive methods

ABSTRACT

The article presents the results of research on the influence of irradiation of fiber-cement boards with UV radiation residing in the aging chamber. Two fibrous cement slabs were tested. One was a plate in the aging chamber and the other was a reference plate. In the tests, a spectrophotometer was used to assess the color change, while the non-destructive method SEM were used to assess the process of destruction and changes taking place in the structure of the panels. The results that were obtained, allowed to observe visible changes in the process of destruction of boards subjected to aging tests. In addition, it has been shown that UV radiation not only affects the color change of such plates, but also significantly affects the changes occurring in the structure of the panels in question.

Keywords: fibre-cement boards; aging tests; spectrophotometer; SEM

1. Wstęp

Płyty włóknisto-cementowe są wyrobem budowlanym stosowanym w budownictwie od początku ubiegłego wieku. Pomysłodawcą był czeski inżynier Ludwik Hatschek, który opracował i opatentował technologię produkcji tego kompozytowego materiału, który nosił nazwę "Eternit". Produkt ten cechował się wytrzymałością, trwałością, niewielkim ciężarem, odpornością na wilgoć i działanie wielokrotnego cyklu zamrażania - rozmrażania oraz niepalnością [1],[2],[3]. Włókno-cement stał się jednym z najbardziej popularnych materiałów na pokrycia dachów na świecie w XX wieku. Było tak do momentu, kiedy stwierdzono, że jeden z jego składników azbest posiada właściwości rakotwórcze. W latach 90. niebezpieczny dla zdrowia składnik zastąpiono bezpiecznymi włóknami, głównie celulozowymi. Obecnie produkowane płyty włóknisto-cementowe składają się z cementu, włókien celulozowych, włókien syntetycznych oraz różnych dodatków i domieszek i stanowią zupełnie inny już wyrób budowlany [4], [5], który nadal wymaga prowadzenia nowych badań. Dodatkowymi składnikami i wypełniaczami

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu naświetlania płyt włóknisto-cementowych promieniowaniem UV przebywających w komorze starzeniowej. Badaniom poddano dwie płyty włóknisto-cementowe. Jedną stanowiła płyta przebywająca w komorze starzeniowej, a drugą płyta referencyjna. W badaniach do oceny zmiany barwy użyto spektrofotometru, z kolei do oceny procesu niszczenia i zmian zachodzących w strukturze płyt użyto metody SEM. Rezultaty które uzyskano pozwoliły zaobserwować widoczne zmiany w procesie niszczenia płyt poddanych badaniom starzeniowym. Ponadto wykazano, że promieniowanie UV ma wpływ nie tylko na zmianę zabarwienia takich płyt, ale także wpływa istotnie na zmiany zachodzące w strukturze przedmiotowych płyt.

Słowa kluczowe: płyty włóknisto-cementowe; badania starzeniowe; spektrofotometr; SEM

płyt włóknisto-cementowych są mączka wapienna, mika, perlit, kaolin, mikrosfera oraz materiały z recyklingu [6], co pozwala uznać je za wyrób innowacyjny, który wpisuje się z powodzeniem w zasady zrównoważonego rozwoju. Obecnie płyty te stosowane są w budownictwie przede wszystkim jako okładzina elewacyjna w systemie elewacji wentylowanych [7]. Podczas eksploatacji płyty włóknisto-cementowe narażone są na zmienne czynniki środowiskowe, w tym czynniki temperaturowe i wilgotnościowe, duże wahania temperatury i tzw. przejście przez temperaturę 0°C w cyklu dobowym (cykliczne zamrażanie-rozmrażanie), zagrożenie agresją chemiczną w postaci kwaśnych deszczy oraz co jest bardzo istotne na agresywność fizyczną w postaci promieniowania ultrafioletowego. Dotychczas autorzy nie spotkali się z badaniami wpływu działania promieniowania ultrafioletowego na płyty włóknisto-cementowe. Wcześniej prowadzone były badania wpływu na płyty włóknisto--ce¬mentowe wysokiej temperatury 230°C oraz działanie ognia m. in. w pracach [8], [9], [10]. Stąd też z punktu widzenia praktyki budowlanej istotne jest, aby takie badania kontynuować. W tym celu wybraną płytę włóknisto cementową stosowaną powszechnie w budownictwie poddano

*Autor korespondencyjny. E-mail: tomasz.gorzelanczyk@pwr.edu.pl

© 2019 Proceedings of 48th National Conference of Nondestructive Testing (KKBN), Wisła, Poland Published by "Badania Nieniszczące i Diagnostyka" SIMP Publishing Agenda DOI: 10.26357/BNiD.2019.009

¹⁰

badaniom starzeniowym, a następnie korzystając z metody spektroskopii określono wpływ naświetlania promieniami UV na zmiany zabarwienia płyty. Jak wiadomo, barwa jest wrażeniem psychofizycznym i zależy od wielu czynników, jak: właściwości odbiciowe materiału, promieniowania padającego na obserwowany obiekt, kierunku obserwacji oraz subiektywnych cech i doświadczenia samego obserwatora [11], [12]. Instrumentalna ocena różnicy barwy jest metodą obiektywną. Ponadto autorzy spróbowali ocenić także wpływ naświetlaniu promieniami UV na zmiany zachodzące w strukturze płyty włóknisto-cementowej. W tym celu zastosowano elektronowy mikroskop skaningowy SEM.



Rys. 1. Widok komory do badań starzeniowych **Fig. 1.** View of the chamber for aging tests

2. Opis badań

Badaniom poddano dwie płyty włóknisto-cementowe. Pierwsza płyta przebywała w komorze do badań starzeniowych (oznaczona jako "płyta UV"). Natomiast dla porównania jako płytę referencyjną wykorzystano płytę tego samego typu, z tej samej serii produkcyjnej (oznaczoną jako "płyta RF"). Z każdej płyty wycięto do badań po 5 próbek o wymiarach 20 mm × 100 mm. Do badań starzeniowych wykorzystano komorę WEATHER - OMETER Ci 4000 firmy Atlas, którą pokazano przykładowo na rysunku 1. Urządzenie przeznaczone jest do wykonywania przyśpieszonych starzeń materiałów i wyrobów pod wpływem światła i warunków klimatycznych takich jak temperatura, wilgotność względna oraz deszcz. Źródłem promieniowania jest lampa ksenonowa chłodzona wodą o mocy elektrycznej regulowanej w zakresie od 2500 do 7500 W, z szerokim zestawem filtrów światła do doboru widmowego rozkładu promieniowania oraz z zestawem filtrów umożliwiający stymulację "naturalnego światła słonecznego" [13]. Naświetlanie próbek trwało 1600 h przy natężeniu napromieniowania: 0,35 W/

m², temperaturze 65±3 °C, wilgotności 60%±5 RH. Przyjęto następujące cykle: 102 min światło, 18 min światło i deszczowanie próbek. Zastosowano system filtrów: zewnętrzny i wewnętrzny BS. Zgodnie z informacjami zawartymi w [14] 1000 h naświetlania odpowiada około 1 rokowi ekspozycji na promieniowanie słoneczne w naszych warunkach klimatycznych.



Rys. 2. Widok spektrofotometru [15] **Fig. 2.** View of the spectrophotometer [15]

Następnie przeprowadzono badania z wykorzystaniem spektrofotometru Color i5 firmy X-Rite [15], który pokazano przykładowo na rysunku 2. Badaniom poddano próbki referencyjne i próbki po naświetlaniu w komorze starzeniowej. Celem badań było określenie różnicy barwy powierzchni pomiędzy płytą referencyjną a płytą poddaną naświetlaniu promieniami UV w komorze starzeniowej. Używany spektrofotometr wyposażony jest w błyskową lampę ksenonową i sferę fotometryczną, która umożliwia oświetlenie badanej próbki światłem rozproszonym. Detektorem światła w urządzeniu jest spektrometr, który rejestruje promieniowanie w zakresie widzialnym (400 do 700 nm). Detektor umieszczony jest tak, że kąt między normalną do powierzchni próbki i kierunkiem obserwacji wynosi 8 stopni. Powyższe ustawienie źródła światła i detektora jest jedną z wielu standardowych geometrii pomiaru barwy i oznaczane jest symbolem d:8°. Wszystkie standardowe geometrie pomiaru zostały opisane w raporcie technicznym [16]. Do przedstawienia barwy w postaci numerycznej potrzebne są widmowy współczynnik odbicia (zmierzony spektrofotometrem), wartości iluminantu normalnego CIE oraz układu kolorymetrycznego (tzw. obserwator kolorymetryczny). Obliczenia wykonywane są przez specjalistyczne oprogramowanie. Z kolei wartości liczbowe iluminatów i układów kolorymetrycznych znajdują się m. in. [16], [17]. Po wykonaniu pomiaru próbki referencyjnej i próbki poddanej naświetlaniu promieniowaniem UV wykonano obliczenia zmiany barwy według poniższego wzoru:

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$
(1)

gdzie:

 ΔL^* , Δa^* , Δb^* - różnica barwy wyrażona we współrzędnych w przestrzeni barw CIELAB

Następnie wykonano badania z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM), który pokazano przykładowo na rysunku 3. Badania te miały na celu zweryfikowanie uzyskanych rezultatów z wykorzystaniem metody EA i pozwoliły na dokładniejszą ocenę zmian zachodzących w strukturze płyt.



Rys. 3. Widok elektronowego mikroskopu skaningowego SEM do obserwacji kontrastu techniką BSE

Fig. 3. View of the electron scanning microscope SEM to contrast observation with BSE technique

3. Wyniki badań i ich analiza

Po przeprowadzeniu badań w komorze starzeniowej płyty włóknisto cementowe poddano badaniom spektrofotometrycznym. Na rysunku 4 pokazano widok próbek przed i po badaniu w komorze starzeniowej. Natomiast w tabeli 1 zamieszczono wyniki zmiany barwy dla dwóch wybranych próbek płyt włóknisto-cementowych po przebywaniu w komorze starzeniowej, w odniesieniu do próbki referencyjnej. Wyniki zmiany barwy przedstawiono za pomocą różnicy współrzędnych w przestrzeni barw CIELAB. Z kolei na rysunku 5 zamieszczono zmierzony współczynnik odbicia dla badanych płyt.



Rys. 4. Widok płyty włóknisto-cementowej przed i po badaniu w komorze starzeniowej

Fig. 4. View of the fiber cement board before and after testing in the aging chamber

Tab. 1. Wyniki zmiany barwy badanych płyt włóknisto-cementowych (D65/10°)

Tab. 1. Results of the color change of the fibrous cement slabs tested (D65/10°)

Oznaczenie badanej próbki	ΔL*	Δa*	Δb*	∆E*ab	Stopień szarej skali wg PN-EN ISO 105-A05:2000
UV-1	10,72	-0,37	-4,33	$11,57 \pm 0,88$	1,5
UV-2	9,82	-0,38	-4,45	$10,79 \pm 1,06$	1,5



Rys. 5. Współczynnik odbicia dla badanych płyt włóknisto-cementowych **Fig. 5.** Reflection coefficient for the tested fiber-cement boards

Na podstawie analizy rysunków 4 i 5 widać, że przebywanie płyt włóknisto-cementowych w komorze starzeniowej wpływa na zmianę ich barwy. Spostrzeżenia te potwierdzają badania przeprowadzone z wykorzystaniem spektrofotometru. Na podstawie rezultatów zamieszczonych w tabeli 1 oraz na rysunku 5, można stwierdzić, że dla obu próbek zaobserwowano silne wybielenie. Wystąpiła również zmiana w kierunku barwy niebieskiej (parametr - Δ b*). Ogólna zmiana barwy Δ E*ab wynosi 11,57 i 10,79. Jest to bardzo duża zmiana barwy. Stąd też próbki przebywające w komorze starzeniowej mają inną barwę i nie mogą być akceptowane w zastosowaniach, w których barwa powierzchni jest istotna.

W celu weryfikacji rezultatów i próby spojrzenia na zmiany zachodzące w strukturze badanych płyt włóknisto-cementowych po przebywaniu w komorze starzeniowej wykonano dalsze badania z wykorzystaniem elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM). I tak na rysunku 6 pokazano przykładowe obrazy przełomów płyt UV, które potwierdziły wcześniejsze obserwacje. Ponadto na podstawie analizy obrazów uzyskanych ze skaningowego mikroskopu elektronowego pokazanych na rysunku 6, można stwierdzić, że makrostrukturę płyty włóknisto-cementowej UV określić można jako kruchą. Widoczne są kawerny oraz wyżłobienia w miejscu przełomu po wyrwanych lub uszkodzonych włóknach. Na tym etapie trudno jeszcze ocenić, czy występują silnie wiązanie pomiędzy włóknami, a matrycą. Ponadto należy również zweryfikować fakt, czy widoczne na przełomach włókna są zerwane czy też wyrwane z matrycy cementowej. Aspekty te będą przedmiotem dalszych analiz.





Rys. 6. Przykładowe obrazy BSE (kontrast) uzyskane przy użyciu elektronowego mikroskopu skaningowego dla płyty UV **Fig. 6.** Example of BSE (contrast) images obtained using the scanning electron microscope for a UV plate

4. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu naświetlania płyt włóknisto-cementowych promieniowaniem UV przebywających w komorze starzeniowej. Badaniom poddano dwie płyty włóknisto-cementowe. Jedną stanowiła płyta przebywająca w komorze starzeniowej, a drugą płyta referencyjna. W badaniach do oceny zmiany barwy użyto spektrofotometru. Do oceny zmian zachodzących w strukturze płyt użyto metody optycznej SEM. Badania spektrofotometrem wykazały wpływ naświetlania promieniowaniem UV na zmianę zabarwienia przedmiotowych płyt. Badania otrzymanych obrazów na mikroskopie skaningowym SEM pozwoliły dokładniej ocenić strukturę płyt. Zdaniem autorów, uzyskane rezultaty pozwalają na sformułowanie ważnego wniosku z punktu widzenia praktyki budowlanej. Mianowicie ekspozycja płyt włóknisto-cementowych ma istotny wpływ nie tylko na ich zabarwienie, ale co ważne, na ich strukturę. Warto zaznaczyć, że są to badania pilotażowe, ale zdaniem autorów, uzyskane rezultaty są na tyle obiecujące, że warto je nadal kontynuować. Interesujące mogłoby być również zbadanie procesu niszczenia takich płyt z wykorzystaniem nieniszczącej metody emisji akustycznej w połączeniu z analizą wykorzystującą sztuczne sieci neuronowe. Wyniki takich badań będą przedmiotem przyszłych publikacji.

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 Wrocławskiej oraz Instytutu Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o.

5. Literatura/References

- [1] Informacje ze strony internetowej: http://www.equitone.com
- [2] Informacje ze strony internetowej: http://www.cembrit.com
- [3] Informacje ze strony internetowej https://de.wikipedia.org/ wiki/Ludwig_Hatschek
- [4] PN-EN 12467+A1:2016-08. Płyty płaskie włóknisto-cementowe. Charakterystyka wyrobu i metody badań.
- [5] Z. Ranachowski, K. Schabowicz, "The Fabrication, Testing and Application of fibre cement boards" Cambridge Scholars Publishing, Newcastle, 2018.
- [6] T. Gorzelańczyk, K. Schabowicz "Badania płyt włóknisto-cementowych zawierających materiały z recyklingu" Materiały Budowlane nr 10, 27-29, 2015.
- [7] K. Schabowicz, T. Gorzelańczyk, M. Szymków "Elewacje wentylowane" Architektura Murator, nr 6, dod. "Warsztat Architekta" nr 3, 36-53, 2017.
- [8] A. Adamczak-Bugno, T. Gorzelańczyk, A. Krampikowska, M. Szymków "Nieniszczące badania struktury materiałów włóknisto-cementowych z użyciem elektronowego mikroskopu skaningowego" Badania Nieniszczące i Diagnostyka, nr 3, 20-23, 2017.
- [9] K. Schabowicz, T. Gorzelańczyk, M. Szymków "Identification of the degree of degradation of fibre-cement boards exposed to fire by means of the acoustic emission method and artificial neural networks" Materials nr 12, 1-17, 2019.
- [10] K. Schabowicz, T. Gorzelańczyk, M. Szymków "Identification of the degree of fibre-cement boards degradation under the influence of high temperature" Automation in Construction nr 101, 190-198, 2019.
- [11] Z. Kolek "Psychofizjologia barwy" Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 244, 2010
- [12] M. Kazimierska "Obiektywna ocena barwy wyrobów użytkowych" Technologia i Jakość Wyrobów 59, 2014
- [13] Informacje ze strony internetowej: http://atlas-mts.com/
- [14] EOTA TR010. Exposure procedure for artificial weathering, 2004
- [15] Informacje ze strony internetowej: http://www.xrite.com/
- [16] Technical Report CIE 015:2018 Colorimetry, 4th Edition
- [17] PN-EN ISO 11664 Kolorymetria (Część 1 6)



PCB Service Sp. z o.o. tel. +48 58 320 11 46; e-mail: kontakt@pcb.com.pl; www.pcb.com.pl

Ewa Krawczyk, Krzysztof Schabowicz*, Adam Sterniuk Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wrocławska

Przykłady zastosowania metody tomografii ultradźwiękowej w badaniach wtrąceń w elementach betonowych

Examples of application of ultrasonic tomography method in concrete included in concrete elements

ABSTRACT

This paper presents modern non-destructive methods used to study concrete and reinforced concrete elements. Non-Destructive Testing allow for non-invasive assessment of the condition of the examined element. In addition to estimating the strength parameters, material properties, they also enable the detection of possible discontinuities and hidden wattles, as well as inclusions, e.g. improperly spaced reinforcing bars. Attention was paid to the ease of testing, the economics of the solution, and the advantages and limitations associated with the choice of non-destructive method. The most widely described method is ultrasonic tomography. An experiment was carried out consisting of measuring three samples of different geometry and different reflectors. The aim of the study was to determine the location and identification of inclusions, reflectors, air voids and discontinuities located in the samples.

Keywords: ultrasound tomography; non-destructive testing

1. Wprowadzenie

Powszechnie stosowane w budownictwie konstrukcje betonowe i żelbetowe, muszą spełniać wymagania dotyczące wytrzymałości i trwałości konstrukcji, a co za tym idzie zapewniać bezpieczeństwo i niezawodność konstrukcji w trakcie jej eksploatacji. W tym czasie na konstrukcję największy wpływ mają czynniki fizyczne: duże różnice temperatury, erozja, wymywanie, zmęczenie materiału, przemarzania, wilgoć oraz przeciążenie elementu, oraz chemiczne: korozja, karbonatyzacja, reakcje biologiczno--chemiczne zachodzące w strukturze betonu. Wystąpienie tych czynników może prowadzić do zmian w geometrii, w mikro- i makrostrukturze betonu, powodować pojawienie się nieciągłości oraz zaburzenie równowagi chemicznej w strukturze materiału. Wszystkie te zmiany można zidentyfikować i ocenić przy użyciu nieniszczących metod badania konstrukcji betonowych.

Badania NDT (ang. Non-Destructive Testing) pozwalają na bezinwazyjne ocenienie stanu badanego elementu. Poza szacowaniem parametrów wytrzymałościowych, właściwości materiałowych, umożliwiają także detekcję ewentualnych nieciągłości i ukrytych wad, a także wtrąceń, np. niewłaściwie rozmieszczonych prętów zbrojeniowych. Pomimo tego, STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wykorzystanie współczesnych metod nieniszczących stosowanych do badania elementów betonowych i żelbetowych. Badania NDT (ang. Non-Destructive Testing) pozwalają na bezinwazyjne ocenienie stanu badanego elementu. Poza szacowaniem parametrów wytrzymałościowych, właściwości materiałowych, umożliwiają także detekcję ewentualnych nieciągłości i ukrytych wad, a także wtrąceń, np. niewłaściwie rozmieszczonych prętów zbrojeniowych. Zwrócono uwagę na łatwość wykonania badań, ekonomikę danego rozwiązania oraz zalety i ograniczenia związane z wyborem metody nieniszczącej. Najszerzej opisano metodę tomografii ultradźwiękowej. Na tej podstawie przeprowadzono eksperyment polegający na pomiarze trzech próbek o różnej geometrii i różnych reflektorach. Celem przeprowadzanego badania było ustalenie lokalizacji oraz identyfikacja wtrąceń, reflektorów, pustek powietrza i nieciągłości zlokalizowanych w próbkach.

Słowa kluczowe: tomografia ultradźwiękowa; badania nieniszczące

że rozwój badań nieniszczących konstrukcji betonowych jest dość powolny, w porównaniu do innych materiałów o bardziej jednorodnej strukturze, obecnie można ocenić nie tylko parametry mechaniczne, ale również właściwości fizyczne, chemiczne lub akustyczne. Popularność tego typu badań wciąż rośnie. Stosunkowo łatwe do przeprowadzenia badania są możliwe do wykonania in-situ. A co najważniejsze dla inwestorów, są to ekonomiczne rozwiązania, pomagające chociażby we wcześniejszym zlokalizowaniu zagrożenia.

2. Akustyczne metody badania betonu

Metody akustyczne to grupa metod bazujących na propagacji fali dźwiękowej w różnych ośrodkach. Falę akustyczną należy rozpatrywać jako falę sprężystą rozchodzącą się w ośrodku lepkosprężystym.

Metoda echa związana jest z wprowadzeniem przez głowicę do ośrodka sygnału, który odbija się od granicy nieciągłości lub wtrącenia i powraca do dwufunkcyjnej głowicy nadawczo-odbiorczej. Jest to metoda bazująca na zjawisku częściowego lub całkowitego odbicia fali i należy do grupy metod z dostępem jednostronnym. Na podstawie analizy tego zjawiska, można wnioskować o wystąpieniu reflektora (obiektu, wtrącenia, pęcherzy powietrza, innych nieciągłości) w objętości elementu lub na jego powierzchni.

© 2019 Proceedings of 48th National Conference of Nondestructive Testing (KKBN), Wisła, Poland Published by "Badania Nieniszczące i Diagnostyka" SIMP Publishing Agenda DOI: 10.26357/BNiD.2019.010

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

W metodzie przepuszczania badanie polega na przyłożeniu głowicy nadawczej i odbiorczej do badanego elementu, po ówczesnym przygotowaniu powierzchni elementu (Rys. 1). Zastosowanie środka sprzęgającego zapewnia prawidłowe przyleganie głowicy do elementu i minimalizuje straty sygnału na wyjściu i wejściu. To najstarsza metoda wykorzystująca fale ultradźwiękowe do lokalizacji pęknięć i pustek powietrznych w strukturze próbki. Fala dźwiękowa przechodzi przez badany element, w którym przypuszczamy wystąpienie defektów (wtrąceń, nieciągłości, zbrojenia) w określonym czasie. Porównując prędkość uzyskaną w miejscu bez defektów, możemy ustalić obecność i położenie defektów.



Rys. 1. Idea metody przepuszczania fal ultradźwiękowych, źródło: [12]

Fig. 1. The idea of the method of transmitting ultrasonic waves, source: [12]

Na rysunku 1 zobrazowano ideę badania dla kilku podstawowych przypadków występujących w strukturze elementu. Na pierwszym przejściu widoczny jest najszybszy przebieg fali - będzie to zatem wartość porównawcza dla dalszych badań. Na kolejnych przejściach, fala napotyka na różnego rodzaju przeszkody, wydłużające lub uniemożliwiające dotarcie do głowicy odbiorczej. Na tej podstawie, podczas badania można wnioskować o wystąpieniu wtrąceń lub istotnych nieciągłości wewnątrz struktury obiektu.

W ostatnim czasie bardzo popularna stała się metoda tomografii ultradźwiękowej, w której wykorzystuje się na przykład tomograf ultradźwiękowy A1040 MIRA, co pokazano na rysunku 2. Opis tego urządzenia przedstawiono między innymi w artykule [10], a sposób działania w [11]. Urządzenie to stosowane jest do badań obiektów, które są wykonane z betonu, betonu zbrojonego lub kamienia. Podczas badania wykorzystuje się metodę pomiaru przysłony Ramana, w której badany jest "nacisk" fali ultradźwiękowej w każdym

punkcie półprzestrzeni. Dane zbierane są w tablicy, która jest tworzona w wyniku zbierania par informacji, pochodzących z nadajnika i odbiornika. Każde zobrazowanie otrzymane podczas badania jest rezultatem analizy fal poprzecznych, które są wysyłane i odbierane przez matrycę czterdziestu ośmiu głowic (Rys. 2b).





0

Fig. 2. Ultrasound tomograph A1040 MIRA: a) top view, b) bottom view, source: [11]

Wyniki badań prezentowane są w postaci zobrazowań oraz funkcji sygnału. Istnieje wiele prac opisujących możliwości tej metody, takie jak określanie grubości elementów [1], dobieranie parametrów podczas prowadzonego badania [2], [3] lub wykrywanie wad znajdujących się na różnej głębokości [4]. Poza pracami na temat samej metody dostępne są również pozycje opisujące rekonstrukcję obrazów uzyskanych podczas badania [5]-[9], choć jest ich niewiele.

3. Przykład badania tomografem ultradźwiękowym

3.1 Wprowadzenie

W ramach eksperymentu przygotowano elementy betonowe o wymiarach 1000x1000x1000mm, 1000x1000x500mm, 1000x500x500mm, 500x500x500mm. Pierwszym etapem eksperymentu było ponumerowanie elementów. Po zabetonowaniu, na każdej ze ścian została naniesiona siatka pomiarowa o skoku 100x100mm. Początek układu współrzędnych przyjęty był podczas badania w górnym lewym rogu. Punkt zerowy układu przyjęto adekwatnie do aktualnego położenia urządzenia. Oś X jest to oś skierowana zgodnie z dłuższym wymiarem tomografu. Zwrot tej osi skierowany jest od strony lewej do prawej. Oś Z zlokalizowana jest w głąb urządzenia, prostopadle do płaszczyzny XY. Na rysunku 3 przedstawiono system oznaczania badanych powierzchni, gdzie: L – strona lewa (left), F – przód (front), T – góra (top), analogicznie powierzchnia prawa i tylna.

BADANIA NIENISZCZĄCE I DIAGNOSTYKA 3 (2019) Nondestructive testing and diagnostics



Rys. 3. Oznaczenie badanych powierzchni próbek **Fig. 3.** Determination of the tested sample surfaces

Akwizycja danych o obiekcie odbywała się poprzez wykonanie skanów na kolejnych pozycjach siatki, jak przedstawiono to na rysunku 4, do momentu "przejścia" przez wszystkie współrzędne.



Rys. 4. Schematyczny przebieg badania **Fig. 4.** Schematic course of the study

3.2 Elementy próbne

Badania przeprowadzono na trzech elementach próbnych, które oznaczono P19, P20 i P36. Wszystkie badane elementy próbne nie posiadały żadnych powierzchniowych cech charakterystycznych, takich jak odpryski, pęknięcia czy widoczne rysy.

W elemencie betonowym oznaczonym jako P19 umieszczono obiekt schodkowy wykonany z płyt styropianowych. Został on umiejscowiony w połowie wysokości bloku: poziom dolnej krawędzi styropianu na głębokości 350 mm.Wymiary schodków oraz ich lokalizację przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Element betonowy P19: a) element wraz z wymiarami próbki, b) wymiary próbki wraz z zabetonowanym elementem, c) zabetonowane wtrącenie, d) wymiary zabetonowanego elementu **Fig. 5.** Concrete element P19: a) concrete element with dimensions, b) dimensions of the sample with concreted element, c) concreted element, d) dimensions of contreted element

Na rysunku 6 przedstawiono element betonowy P20. Zostało w nim wykonane podcięcie na głębokość oraz szerokość ok. 500 mm. W próbce nie umieszczono żadnych dodatkowych obiektów.



Rys. 6. Element betonowy P20: a) widok po zabetonowaniu, b) wymiary elementu Eig 6. Concrete element P20: a) ready sample b) sample

Fig. 6. Concrete element P20: a) ready sample, b) sample dimensions



Rys. 7. Element betonowy P36: a) gotowa próbka wraz z wymiarami, b) zabetonowane wtrącenie, c) zbrojenie podczas betonowania, d) schemat zbrojenia

Fig. 7. Concrete element P36: a) ready sample, b) sample dimensions, c) reinforcement during concreting, d) reinforcement scheme

Z kolei dla elementu betonowego P36, pokazanego na rysunku 7, przygotowano układ zbrojenia siatką w warstwie dolnej oraz dwoma skrzyżowanymi prętami w warstwie górnej.

3.3 Wyniki badań i ich analiza

W wyniku wykonania pomiarów dla elementu betonowego P19 otrzymano łącznie 70 obrazów pochodzących z 70 punktów pomiarowych. Na rysunkach 8 - 12 przedstawiono wybrane zobrazowania pokazujące otrzymane rezultaty. Jak widać na otrzymanych rezultatach wymiary wtrącenia otrzymane przy wykorzystaniu tomografu ultradźwiękowego zgadzają się z wymiarami rzeczywistymi wtrącenia. W elemencie P19 z dokładnością do 5mm zostały oszacowane jego wymiary.



Rys. 8. Zobrazowanie elementu betonowego P19 - widok od prawej

Fig. 8. Concrete element P19 – view from the right



Rys. 9. Element betonowy P19 – widok od tyłu – pomiar wysokości

Fig. 9. Concrete element P19 - rear view - height measurement

Na rysunku 11 przedstawiono wybrane zobrazowania pokazujące otrzymane rezultaty dla elementu betonowego P20. Można na nich zaobserwować wyraźne wtrącenie w postaci rozległej powierzchni obejmującej około połowę przekroju próbki. Wysokość i szerokość wtrącenia to około 500 mm. Wymiar ten jest zgodny z faktycznym kształtem elementu betonowego próbki P20.



Rys. 10. Element betonowy P19 – widok od lewej Fig. 10. Concrete element P19 – view from the left



Rys. 11. Element betonowy P20: a) widok od góry, b) widok od prawej **Fig. 11.** Concrete element P20: a) top view, b) view from the right



Rys. 12. Element betonowy P36: a) widok od góry, b) widok 3D **Fig. 12.** Concrete element P36: a) top view, b) 3D view

Z kolei na rysunku 12 przedstawiono rezultaty otrzymane z badania tomografem ultradźwiękowym elementu betonowego P36. Jak widać z przedstawionych zobrazowań dla bardziej złożonych elementów można określić kształt oraz rozmiar, jaki ma wtrącenie. Analizując sam widok z góry (Rys. 12a), istnieje ryzyko błędnej oceny grubości elementu oraz sposobu jego ułożenia. Dopiero widok 3D pokazuje rozmieszczenie wykrytych elementów względem siebie, co pokazano na rysunku 12b.

4. Wnioski

Badania nieniszczące pozwalają na bezinwazyjne ocenienie stanu badanego elementu. Umożliwiają także detekcję ewentualnych nieciągłości i ukrytych wad, a także wtrąceń, np. niewłaściwie rozmieszczonych prętów zbrojeniowych.

W artykule przestawiono przykładowe nieniszczące metody akustyczne przydatne w diagnostyce elementów betonowych, omawiając szerzej metodę tomografii ultradźwiękowej. Metoda ta pozwala na przedstawienie otrzymanych wyników w postaci graficznej, co znacznie ułatwia interpretację wyników. Możliwe jest wtedy nie tylko dostrzeżenie miejsc ewentualnego zaburzenia, ale również określenie jego położenia.

W oparciu o przeprowadzone badania, zaprezentowane w tym artykule, można stwierdzić, że wyniki otrzymane za pomocą tomografii ultradźwiękowej pozwalają wykryć wtrącenia w bardzo dobrym stopniu. Badania prowadzone na mniej skomplikowanych elementach betonowych pozwalają z bardzo dobrą dokładnością oszacować możliwe wtrącenia. Przy większych obiektach, jak przykładowo w elemencie betonowym P19, z dokładnością do 5 mm zostały oszacowane jego wymiary. Dla bardziej złożonych elementów, takich jak przykładowo element P36 można określić kształt oraz rozmiar, jaki zajmuje wtrącenie.

Przedstawione wyniki pokazują, jak duże możliwości dają akustyczne badania nieniszczące. Wcześniejsze wykrywanie ewentualnego zagrożenia, brak naruszania konstrukcji, możliwość wykonania pomiarów in-situ, ekonomika i co najważniejsze dokładność wyników dają duże możliwości i zastosowanie w praktyce budowlanej.

5. Literatura/References

- Kozlov V.N., Samokrutov A.A, Shevaldykin V.G., "Thickness measurements and flaw detection in consrete using ultrasonic echomethod", Journal of Nondestructive Testing and Evaluation, 1997
- [2] Samokrutov A.A., Shevaldykin V.G., "Ultrasonictomography of metal structure using digital focused antenna arraymethods", Russian Journel of NondestructiveTesting, 2011
- [3] Samokrutov A.A., Kozlov V.N., Shevaldykin V.G., "Ultrasonic testing of concrete objects using dry acoustic contact. Methods, instrumentsand possibilities", The 5thInternational Conference on Non Destructive Testing and Technical Diagnostics in Industry, Moskwa, 2006
- [4] Bishko A., "Improvement of imaging at small depths for acoustic tomography of reinforced concrete objects", The 6thInternational Conference on Non-Destructive Testing and Technical Diagnostics in Industry, Mashinostroenie, Moskwa 2007
- [5] Schickert M., Krause M., "Ultrasonic techniques for evaluation of reinforced concrete – structures", Non-destructive Evaluation of Reinforced Concrete Structures, 2010
- [6] Schickert M., "Towards SAFT-Imaging in Ultrasonic Inspection of Concrete", International Symposium Non-Destructive Testing in Civil engineering, 1995
- [7] Śliwowski M., "Zmechanizowane systemy ultradźwiękowe do lokalizacji korozji wżerowej", XIV Seminarium Nieniszczące Badania Materiałów, Zakopane, 2008
- [8] Jian-Hua T., Chin-Lung Ch., Chung-Yue W., Shua-Tao L., "Influence of Rebars on Elastic - Wave Based SAFT Image for Detecting Void in Concrete Structure", International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering, Berlin, 2015
- [9] Bazulin E.G., "Determining the Flaw Type from Images Obtained by the C-SAFT Method with Account for Transformations of Wave Types upon Reflections of Ultrasonic Pulses from Irregular Boundaries of a Test Object", Russian Jouranal of Nondestructive Testing, Moskwa, 2010
- [10] De la Hoza A.O., Petersen C.G., Samokrutov A., "Three dimensional imaging of concrete structures using ultrasonic shear waves"
- [11] Oficjalna strona producenta aparatu A1040 MIRA http://www. acsys.ru/
- [12] Witryna internetowa firmy Germann http://germann.org/

Badania Nieniszczące i Diagnostyka Nondestructive Testing and Diagnostics



COMANIA BADAN NIENIS

INSTYTUT TECHNICZNY WOJSK LOTNICZYCH

ul. Księcia Bolesława 6, 01-494 Warszawa tel.: +48 261 851 300; fax: +48 261 851 313 www.itwl.pl e-mail: poczta@itwl.pl

Prowadzimy badania na statkach powietrznych: F-16, MiG-29, M-346, Su-22, C-295, C-130, PZL-130, TS-11, G550, Mi-2, Mi-8, Mi-14, Mi-17, Mi-24, Boeing 787



Wykonujemy badania UT, ET, IRT, ST, PT, MT, RT

CYCH



1

Prowadzimy szkolenia zgodnie z EN 4179/NAS410



Wykonujemy badania w kraju i za granicą

Posiadamy wyposażenie we wszystkich metodach NDT

NYPOSAŻENIE

Współpracujemy z: WZL nr 1 S.A. • WZL nr 2 S.A. • LOT Aircraft Maintenance Services Sp. z o.o. Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego "PZL-Świdnik" S.A." • Polskie Zakłady Lotnicze Sp. z o.o. • Airbus Poland S.A. • Leonardo S.p.A.

LOTNIC

Stosowanie metod nieniszczących przy remontach, modernizacjach i wzmocnieniach obiektów budowlanych

The use of non-destructive methods for renovation, modernization and strengthening of building structures

STRESZCZENIE

W artykule podano:

2017 w podziale na:

typy konstrukcji,

rodzaje uszkodzeń,

• okres uszkodzenia i awarii,

· elementy i materiały budowlane,

rodzaje budownictwa i technologie,

ABSTRACT

The paper presents:

analysis of damage and failure construction for 2017 and 1965-2017 divided into:

- period of damage and failure,
- building elements and materials,
- types of construction and technologies,
- types of constructions,
- types of damage,

technical assessments and analyzes of the use of non-destructive methods,
methods and techniques of non-destructive testing used in diagnostics, failure hazards and modernization of buildings

Keywords: Non-destructive testing of construction objects, construction disasters

1. Wstęp

Od szeregu lat zwiększa się zakres remontów, modernizacji i wzmocnień istniejących obiektów budowlanych.

Obok niezbędnych analiz statycznych i technologicznych, ważną rolę odgrywają stosowane metody badawcze do oceny materiałów i istniejących obiektów.

Wśród tych metod najważniejszą rolę odgrywają metody nieniszczące.

Rodzaje i zakresy stosowania tych metod do oceny materiałów, a tym samym konstrukcji budowlanych, określają wieloletnie analizy zagrożeń i awarii obiektów budowlanych oraz potrzeby modernizacyjne związane ze zmianami eksploatacyjnymi tych obiektów.

W artykule podano wieloletnią analizę zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych oraz wynikające z nich metody nieniszczące najczęściej stosowane przy remontach, modernizacjach i wzmocnieniach obiektów budowlanych.

2. Analizy uszkodzeń awarii i katastrof obiektów budowlanych

Analizy występujących uszkodzeń, awarii i katastrof obiektów budowlanych prowadzone są od szeregu lat w wielu krajach.

Realizowane są one przez ciągłe obserwacje (monitoringi), specjalistyczne analizy techniczno-ekonomiczne **Słowa kluczowe:** Badania nieniszczące obiektów budowlanych, katastrofy budowlane.

- metody i techniki badań nieniszczących stosowanych w diagnostykach,

techniczne oceny i analizy stosowania metod nieniszczących,

zagrożeniach i modernizacjach obiektów budowlanych.

- analizę uszkodzeń, awarii i katastrof budowlanych za rok 2017 i lata 1965-

i publikacje w różnych czasopismach oraz przedstawiane są na naukowo-technicznych krajowych oraz międzynarodowych sympozjach i konferencjach.

Wnioski z tych prac służą do doskonalenia technik i technologii programowania, projektowania, realizacji, remontów i modernizacji, użytkowania, ubezpieczania, wyceny obiektów budowlanych, kontraktów przetargowych a także szkolenia studentów na Wyższych Uczelniach oraz inżynierów i rzeczoznawców budowlanych w ramach dokształcania i podnoszenia kwalifikacji.

Między innymi służą one do doskonalenia i nowelizacji przepisów technicznych, norm projektowania i wykonawstwa, wytycznych i instrukcji wykonywania i odbioru obiektów budowlanych oraz do doskonalenia wiedzy technicznej i podnoszenia kwalifikacji zawodowych i organizacyjnych projektantów, wykonawców, użytkowników i rzeczoznawców, a także zakresu i form ubezpieczań działalności budowlanej oraz doskonalenia eksploatacji, wyceny obiektów budowlanych, rynku budowlanego oraz sposobów napraw, wzmocnień i modernizacji.

W Polsce problem zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych jest przedmiotem:

- okresowych (od 1962 r.) analiz zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych prowadzonych przez ITB,
- wydawnictw książkowych na temat błędów i awarii konstrukcji betonowych, murowanych, stalowych i mieszanych oraz zasad remontów, wzmocnień i modernizacji,

© 2019 Proceedings of 48th National Conference of Nondestructive Testing (KKBN), Wisła, Poland Published by "Badania Nieniszczące i Diagnostyka" SIMP Publishing Agenda DOI: 10.26357/BNiD.2019.011

^{*}Autor korespondencyjny. E-mail: l.runkiewicz@itb.pl



Rys. 1. Liczba zagrożeń, awarii i katastrof (rekordów) z danych ITB oraz katastrof z rejestru GUNB (lata 2000-2017) **Fig. 1.** Number of threats, failures and disasters (records) from ITB data and disasters from the GUNB register (2000-2017)

 konferencji naukowo-technicznych obejmujących wybrane zagadnienia zagrożeń, uszkodzeń, awarii i katastrof budowlanych.

Komputerowa baza danych o zagrożeniach, awariach i katastrofach budowlanych powstała w Instytucie Techniki Budowlanej dopiero w 1992 r. Jej niewielkie zmiany były dokonywane w latach późniejszych.

W komputerowej bazie danych ITB o zagrożeniach, awariach i katastrofach budowlanych zgromadzone jest ponad 4000 danych (rekordów) obejmujących wydarzenia od 1989 r. do 2006 r.

Tylko nieliczne dane wprowadzane były w postaci opisowej np. typ obiektu. Zdecydowana większość danych była wprowadzana do bazy przez wybranie z listy jednej z opcji np. FUNKCJONALNY TYP OBIEKTU: mieszkalny, publiczny, przemysłowy itd. Takie rozwiązanie umożliwiało sporządzanie zestawień statystycznych.

Na rys.1 pokazano liczby zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych – z podziałem na poszczególne lata - z danych zbiorczych Instytutu Techniki Budowlanej oraz z rejestru katastrof prowadzonym w Głównym Urzędzie Nadzoru Budowlanego (GUNB).

Rejestr GUNB-u jest prowadzony od 1995 r., a więc od czasu gdy ustawa Prawo budowlane wprowadziła obowiązek prowadzenia takiego rejestru (obecnie Rejestr Katastrof Budowlanych-system RKB).

Dane z ITB są wprowadzane z dokumentów jakie GUNB udostępnia dla ITB i uzupełniane są o dane z innych źródeł (własne ekspertyzy ITB, rzeczoznawcy z kraju, urzędy, firmy, czasopisma i konferencje naukowo-techniczne itp.). Dlatego dane ITB zawierają większą liczbę rekordów niż rejestry GUNB-u. W zestawieniu wyraźnie widoczny jest spadek liczby zagrożeń, awarii i katastrof od 2008 w porównaniu z latami poprzednimi, jednak nadal znajduje się ono na dość wysokim poziomie.

Przyczyny licznych przypadków zagrożeń, awarii i katastrof można upatrywać w tym, że w ostatnich latach miały miejsce liczne huragany, ulewy oraz opady śniegu. Spowodowały one m.in. zawalenia wyeksploatowanych, zużytych, nieużytkowanych i porzuconych obiektów budowlanych lub ich fragmentów.

2.1 Zagrożenia, awarie i katastrofy budowlane w 2017 roku

W 2017 roku zarejestrowano 961 katastrof, awarii i zagrożeń budowlanych, w tym 608 katastrof zgłoszonych do GUNB.

Awarie i katastrofy obiektów budowlanych w 2017 roku według kryterium czasu zaistnienia (eksploatacji), podano na rys. 2 (w%).



Rys. 2. Zagrożenia, awarie i katastrofy obiektów budowlanych w 2017 r. według kryterium czasu eksploatacji **Fig. 2.** Threats, failures and catastrophes of construction works in

2017 according to the criterion of operation time. Zagrożenia, awarie i katastrofy zebrane przez GUNB

i ITB zostały podzielone na dwie kategorie (I i II):

 do kategorii I zaliczono awarie i katastrofy nie wynikające ze zdarzeń losowych, których w roku 2017 - było 480 (50%),

• do kategorii II zaliczono awarie i katastrofy zaistniałe z przyczyn losowych, których było 481 (50%).

Do awarii i katastrof zaistniałych w 2017 r. z przyczyn losowych zaliczono awarie i katastrofy powstałe na skutek:

- działań sił natury (silne wiatry, trąby powietrzne, powodzie, obfite śniegi, grady, uderzenia piorunów);
- wstrząsów parasejsmicznych, wybuchów gazów, uderzeń samochodów w budynki, wybuchów kotłów, instalacji oraz awarii przemysłowych.

Technologie wykonania obiektów budowlanych, które były zagrożone lub uległy awariom i katastrofom budowlanym w 2017 r. pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Technologie wykonania obiektów budowlanych, które były zagrożone lub uległy awariom lub katastrofom budowlanym w 2017 r.

Fig. 3. Technologies for the construction of buildings that were at risk or were subject to construction accidents or disasters in 2017.



Rys. 4. Rodzaje elementów budowlanych objętych zagrożeniami, awariami lub zniszczeniami w 2017 r.

Fig. 4. Types of building elements under threats, breakdowns or damage in 2017.

Najwięcej zagrożeń, awarii i katastrof wystąpiło w 2017 roku w budownictwie mieszkaniowym i gospodarczym (mieszanym), a następnie w budownictwie magazynowym, użyteczności publicznej (logistycznym), rekreacji indywidualnej i innym.

Podział zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych w 2017 roku ze względu na elementy i materiały konstrukcyjne podano na rys. 4 i 5.

Najwięcej zagrożeń, awarii i katastrof wystąpiło z powodu uszkodzeń pionowych elementów, a następnie konstrukcji dachów i stropów.



Rys. 5. Konstrukcje obiektów budowlanych, które uległy zagrożeniom, awariom i katastrofom w 2017r. ze względu na rodzaj materiału (w%)

Fig. 5. Building structures that underwent threats, breakdowns and disasters in 2017 due to the type of material (in%).

Z rysunku nr 5 wynika, że najwięcej zagrożeń, awarii i katastrof dotyczyło budownictwa murowego, a następnie stalowego, budownictwa drewnianego, żelbetowego i mieszanego.

2.2 Zestawienie zagrożeń, awarii i katastrof za lata 1962-2017

Zestawienie szacunkowe analiz powstałych zagrożeń, awarii i katastrof w latach od 1962 do 2017 przedstawiono na Rys. 6 ÷ 11. Przedstawiają one charakter obiektów, rodzaje uszkodzenia lub zniszczenia, rodzaje materiałów oraz przyczyny projektowe, wykonawcze i eksploatacyjne ich powstania.

Najwięcej zagrożeń, awarii i katastrof za tak długi okres od 1962 r. występowało w budownictwie mieszkaniowym i publicznym, a następnie w budownictwie przemysłowym, magazynowym i innym (rys. 6).

Z danych przedstawionych na rysunku 7 wynika, że najwięcej zagrożeń, awarii i katastrof od 1962 roku dotyczyło głównie obiektów o technologii mieszanej, murowych i stalowych, a następnie drewnianych i żelbetowych (prefabrykowanych lub monolitycznych). Są to najczęściej ściany, słupy, stropy i dachy.

Rys. 6. Udział procentowy awarii i katastrof w latach 1962-2017 według podziału na rodzaje budownictwa

Fig. 6. Percentage of failures and catastrophes in 1962-2017 by type of construction.

Rys. 7. Udział procentowy zagrożeń, awarii i katastrof w latach 1962-2017 wg podziału na technologie wykonanego obiektu. **Fig.** 7. Percentage of threats, breakdowns and disasters in 1962-2017 by division into technologies of the constructed object.

Rys. 8. Udział procentowy zagrożeń, awarii i katastrof w latach 1962-2017 według podziału na typy konstrukcji budowlanych. **Fig. 8.** Percentage of threats, accidents and disasters in 1962-2017 by type of building structures.

Ze względu na typ konstrukcji – najwięcej od 1962 roku zagrożeń, awarii i katastrof wystąpiło w budynkach o konstrukcjach płytowo-słupowych i szkieletowych, a następnie płytowych i innych (mieszanych) rys. 8. Najwięcej uszkodzeń od 1962 r. wystąpiło w postaci ugięć, przechyleń, przemieszczeń i pęknięć elementów, a następnie, runięć elementów lub obiektów (rys. 9).

Najwięcej od 1962 r. zagrożeń, awarii i katastrof ze względu na usytuowanie w budowlach dotyczyło pionowych elementów, a następnie poziomych elementów i połączeń (rys. 10).

Największą przyczyną zagrożeń, awarii i katastrof były uszkodzenia elementów podstawowych, a ok. połowę mniej elementów drugorzędnych (rys. 10).

Rys. 9. Udział procentowy zagrożeń, awarii i katastrof w latach 1962-2017 ze względu na rodzaj uszkodzenia lub zniszczenia konstrukcji.

Fig. 9. Percentage of threats, breakdowns and disasters in 1962-2017 due to the type of damage or destruction of the structure.

Rys. 10. Udział procentowy zagrożeń, awarii i katastrof w latach 1962-2017 według podziału na rodzaje uszkodzonych elementów oraz ich funkcje w konstrukcji.

Fig. 10. Percentage of threats, breakdowns and disasters in 1962-2017 according to the division into types of damaged elements and their functions in the structure.

Rys. 11. Udział procentowy zagrożeń, awarii i katastrof w latach 1962-2017 według podziału na materiały. **Fig. 11.** Percentage of threats, accidents and disasters in 1962-2017 by material division.

Zagrożenia, awarie i katastrofy od 1962 r. dotyczyły głównie elementów drobnowymiarowych, żelbetowych oraz drewnianych i stalowych (rys. 11). Były to ściany, stropy, dachy, mury, słupy itp.

3. Techniczne analizy stosowania metod nieniszczących przy zagrożeniach, awariach i remontach obiektów

Do najczęstszych celów stosowania metod nieniszczących przy zagrożeniach, awariach oraz remontach obiektów budowlanych należy zaliczyć:

- prawidłowe rozpoznania podłoża gruntowego oraz aktualnych warunków wodno-gruntowych pod obiekty nowe oraz modernizowane,
- ustalenia obciążeń dopuszczalnych na grunt i dopuszczalnych osiadań dla danego rodzaju projektowanych budowli i typów posadowień np. w budowlach przemysłowych, plombowych i obiektach handlowo-rozrywkowych,
- odpowiednie dobory technologii realizacji, rodzajów materiałów, wyrobów i elementów konstrukcyjnych oraz wykończeniowych, a szczególnie przy remontach obiektów zabytkowych i specjalistycznych.

W procesie wykonawstwa zagadnieniami takimi są:

- zmiany warunków i rodzajów fundamentowania obiektów realizowanych, rozbudowywanych i modernizowanych, a szczególnie w budownictwie plombowym, usługowym lub wielozadaniowym,
- kontrolne badania gruntu przed rozpoczęciem realizacji obiektów, a szczególnie w gęstej zabudowie lub przy przedłużającym się rozpoczęciu budowy,
- oceny jakości wbudowywanych betonów, materiałów budowlanych, elementów lub wyrobów,
- wykonywanie połączeń elementów budowlanych (stalowych, żelbetowych i drewnianych),
- oceny właściwości nowych materiałów, wyrobów i systemów budowlanych dla określonych warunków eksploatacji,

- oceny wpływów czynników atmosferycznych na jakość robót w czasie realizacji obiektów.
- Natomiast w czasie eksploatacji są to zagadnienia ocen:
- okresowych wiarygodnych przeglądów i ocen technicznych (zgodnie z prawem budowlanym oraz realizowanie wniosków i zaleceń w nich zawartych),
- uszkodzeń konstrukcji wskutek dodatkowych obciążeń i zniszczeń przez użytkowników,
- jakości konserwacji, napraw, złego malowania i zabezpieczania konstrukcji przed erozją i korozją,
- osłabienia lub uszkodzenia połączeń lub istotnych fragmentów konstrukcji przez niewłaściwą eksploatację,
- nadmiernych rys, a często pęknięć elementów konstrukcji, sprzyjających korozji,
- powstawania i nieusuwanie zacieków oraz ich przyczyn,
- powstawania awarii instalacji sanitarnych, gazowych lub elektrycznych, a szczególnie awarii instalacji wodociągowych w podłożach.

Metody nieniszczące są pomocne przy usuwaniu zagrożeń, awarii i katastrof elementów i obiektów budowlanych. Służą one do właściwego projektowania elementów stropów, posadzek, podłóg, dachów i masywnych elementów z betonu, doboru wyrobów ścian warstwowych w budynkach, sufitów podwieszanych, zamocowania elementów elewacyjnych do konstrukcji, dostatecznych połączeń elementów, stosowanie dylatacji konstrukcji wielkoprzestrzennych, modernizacji budynków, nadbudów, remontów i wzmocnień.

Służą one do ocen takich elementów i obiektów:

- stropów, ścian oraz słupów żelbetowych i stalowych, szczególnie w obiektach halowych, logistycznych i magazynowych,
- stalowych i żelbetowych słupów energetycznych, telefonii komórkowej oraz energii wiatrowej,
- hal stalowych o różnych rozmiarach, a także dźwigarów stalowych i pokrycia w obiektach o wielofunkcyjnym przeznaczeniu,
- płyt i układów fundamentowych pod budynkami typu "biała wanna",
- żelbetowych ścian szczelinowych, przy głębokich posadowieniach budynków,
- kolektorów i budowli wodnych, zarówno podziemnych, jak i naziemnych,
- składowisk różnego typu i wielkości,
- wielofunkcyjnych obiektów żelbetowych o skomplikowanych układach,
- pawilonów handlowych, magazynowych, gospodarczych i logistycznych,
- mostów i wiaduktów wykonanych w różnych technologiach,
- żelbetowych garaży (parkingi) wielopiętrowych nadziemnych i podziemnych,
- sufitów podwieszanych w obiektach kubaturowych o różnym przeznaczeniu,
- ścian wewnętrznych i elewacyjnych budynków,
- żelbetowych i stalowych zbiorników oraz basenów,

BADANIA NIENISZCZĄCE I DIAGNOSTYKA 3 (2019) Nondestructive testing and diagnostics

- sprężonych stropów żelbetowych,
- hal widowiskowych i wielofunkcyjnych,
- stalowych i żelbetowych wież telekomunikacyjnych i wiatrowych,
- żelbetowych i stalowych silosów na materiały sypkie,
- izolacji wodnych, termicznych i akustycznych w obiektach o różnym przeznaczeniu,
- elementów wykończeniowych jak tynków, okładzin, podłóg, ślusarki, itp..
- pokryć dachowych.

Ponadto metody nieniszczące służą do wykonawstwa robót przy remontach, wzmocnieniach i modernizacjach, połączeń elementów żelbetowych oraz drewnianych, spojenia i połączenia elementów stalowych, usztywnień roboczych, izolacji wodnych i akustycznych, robót wykończeniowych i uzupełniających, obiektów plombowych, rozbiórek i uzupełnień obiektów, remontów i modernizacji obiektów, nadbudów obiektów, posadzek, lekkich ścian działowych, elementów okiennych i drzwiowych itp.

Dotyczyły one szczególnie takich obiektów i elementów jak:

- żelbetowych i stalowych zbiorników i silosów na ciecze i materiały sypkie w zakładach przemysłowych i oczyszczalniach ścieków,
- żelbetowych ścian (ścianki) szczelinowych i fundamentów, przy zabudowie plombowej a także w budownictwie specjalnym,
- kolektorów i budowli wodnych, zapór i jazów,
- kominów i budowli wieżowych, żelbetowych i murowych,
- ścian, słupów i stropów z pustaków, z betonu i materiałów podobnych a także z recyklingu,
- budowli szkieletowych i żelbetowych garaży piętrowych, podziemnych i wolnostojących,
- budowli plombowych w miastach,
- żelbetowych i stalowych wież telekomunikacyjnych, energetycznych i wiatrowych,
- konstrukcji sprężonych o zróżnicowanym przeznaczeniu,
- dachów i stropodachów o różnych konstrukcjach,
- hal stalowych o różnym przeznaczeniu,
- budowli podziemnych i fundamentów,
- izolacji przeciwwodnych, cieplnych i akustycznych w budynkach,
- balkonów i elementów wykończeniowych budynków,
- budynków gospodarczych i domów jednorodzinnych.

Do rozwiązania w/w zagadnień przy usuwaniu zagrożeń i awarii, a także remontach, modernizacjach i wzmocnieniach wymienionych elementów, konstrukcji i obiektów budowlanych rozwijane są różne metody nieniszczące pokazane na rys. 12.

4. Podsumowanie i wnioski

W ostatnich latach zarejestrowano znacznie więcej zagrożeń, katastrof i awarii budowlanych niż w latach poprzednich. Złożyły się na to głównie czynniki losowe takie jak, silne wiatry (huragany) oraz opady śniegu, deszczu i gradu. Poza tym zwiększył się zakres remontów, wzmocnień i modernizacji.

Rozwiązanie problemów technicznych w takich przypadkach wymaga szerokiego i ukierunkowanego rozwoju i stosowania metod nieniszczących.

Rys. 12. Ogólna klasyfikacja nieniszczących metod i technik stosowanych w diagnostykach obiektów budowlanych.

Fig. 12. General classification of non-destructive methods and techniques used in building diagnostics.

Wśród obiektów, które zarejestrowane są w bazie danych bardzo dużą liczbę stanowią budynki gospodarcze takie jak: obiekty rolnicze, składy, garaże, magazyny, itp. Wiele obiektów było starych, wyeksploatowanych, nieużytkowanych, porzuconych, a także zabytkowych (nieużytkowanych).

Inną grupę rejestrowanych przypadków stanowią awarie i katastrofy z przyczyn czysto losowych takich jak: huragany, grady, ulewy, osuwiska, uderzenia samochodów w budynki, wybuchy gazu, pożary, szkody górnicze i inne nietypowe zjawiska.

W bazie ITB znajdują się również obiekty, które były tylko zagrożone np. przez wody przedostające się do piwnicy lub przez dach, przyczyniając się do zagrożenia użytkowania.

Ogólnie należy stwierdzić, że zgromadzone informacje o zagrożeniach, awariach i katastrofach budowlanych są bardzo zróżnicowane i stanowią wartości szacunkowe. Zestawienia statystyczne na podstawie tych danych odzwierciedlają stany zgromadzonych zasobów.

Kilkudziesięcioletnie doświadczenia ze zbieraniem, gromadzeniem danych o zagrożeniach, awariach i katastrofach budowlanych oraz tworzeniem zestawień statystycznych upoważnia do formułowania różnego rodzaju ogólnych uwag, spostrzeżeń i wniosków, a także rozwoju niezbędnych badań nieniszczących.

Działaniom w tym zakresie powinny sprzyjać prawo budowlane i odpowiednie przepisy wprowadzając jednolite zasady wykonywania ocen, opinii, orzeczeń i ekspertyz budowlanych obiektów znajdujących się w stanach zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych, a także przy remontach i modernizacjach obiektów budowlanych.

Informacje o takich zdarzeniach oraz monitoringi zagrożeń, katastrof i awarii budowlanych a także wzmocnień, są cennym źródłem wiedzy o kondycji budowli i jakości stosowanych w budownictwie rozwiązań oraz stosowania odpowiednich metod zabezpieczających, naprawczych i wzmocnień.

Informacje te powinny być zbierane, analizowane i wykorzystywane dla polepszania jakości obiektów budowlanych. Powinny być wykorzystywane przy ustalaniu przepisów zarówno technicznych, jak i organizacyjno-administracyjnych, a także rozwoju niezbędnych metod nieniszczących.

Ponadto powinny być wykorzystywane przy szkoleniu studentów w szkołach wyższych oraz szkoleniu projektantów, wykonawców i rzeczoznawców budowlanych.

Odbiorcami wyników pracy powinni być studenci, wykładowcy, inżynierowie, nadzór budowlany, rzeczoznawcy budowlani, firmy ubezpieczeniowe, władze administracyjne oraz użytkownicy i właściciele obiektów.

5. Literatura/References

- Runkiewicz L., Sieczkowski J.: Wpływ błędów projektowych, wykonawczych i eksploatacyjnych na korozję betonu i zagrożenia bezpieczeństwa obiektów budowlanych. Zeszyty Naukowe. Politechniki Śląskiej.
- [2] Runkiewicz L.: Raporty o awariach i katastrofach budowlanych. Biblioteka ITB.
- [3] Runkiewicz L., Sieczkowski J.: Czynniki atmosferyczne i środowiskowe wpływające na zagrożenia, awarie i katastrofy obiektów budowlanych. Przegląd Budowlany nr 10/2017.

- [4] Runkiewicz L., Sieczkowski J.: Diagnostyka eksploatacyjnych strunobetonowych dźwigarów dachowych. Materiały Budowlane. 11/2017.
- [5] Runkiewicz L., Sieczkowski J.: Badania i ocena dachowych dźwigarów kablobetonowych. Poradnik. Wyd. ITB.
- [6] Warunki Techniczne wykonania i odbioru. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Wyd. ITB (nowelizacja).
- [7] Hoła J., Runkiewicz L.: Zasady wykonywania ekspertyz konstrukcji żelbetowych. Materiały Konf. Warsztat Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego. Cedzyna k/Kielc. 2018.
- [8] Runkiewicz L., Szulc J.: Zasady wykonywania oceny technicznej budynków z wielkiej płyty z przykładami przebudowy tych obiektów. Materiały Konf. Warsztat Pracy Rzeczoznawcy Budowlanego. Cedzyna k/Kielc. 2018.
- [9] Runkiewicz L., Sieczkowski J.: Badania i oceny żelbetowych dźwigarów dachowych w obiektach eksploatowanych. Przegląd Budowlany Nr 3/2018.
- [10] Runkiewicz L., Sieczkowski J.: Analiza najczęściej popełnianych błędów projektowych w konstrukcjach żelbetowych. Mat.: XIII WPPK, Szczyrk 2018.
- [11] Runkiewicz L., Sieczkowski J.: Ocena techniczna obiektów budowlanych z wykorzystaniem metod nieniszczących i seminieniszczących. Wyd. Badania nieniszczące i diagnostyka. 3/2018.
- [12] Runkiewicz L., Sieczkowski J.: Zasady wykonywania i odbioru robót żelbetowych zbiorników w oczyszczalniach ścieków. Przegląd Budowlany. 7-8/2018.
- [13] Runkiewicz L.: Rola rzeczoznawstwa budowlanego w gospodarce narodowej. Przegląd Budowlany Nr 10/2018.
- [14] Runkiewicz L., Sieczkowski J.: Zagrożenia i awarie obiektów budowlanych w ostatnich latach. Materiały Budowlane Nr 5/2018.
- [15] Runkiewicz L.: Stosowanie metod nieniszczących w budownictwie. Przegląd Budowlany. 2019.

Badania Nieniszczące i Diagnostyka

LISTA RECENZENTÓW W ROKU 2018

- 1) Grzegorz Jezierski, Politechnika Opolska
- 2) Jacek Słania, Instytut Spawalnictwa, Gliwice
- 3) Jakub Kowalczyk, Politechnika Poznańska
- 4) Marek Lipnicki, Koli Sp. z o.o., PTBNiDT SIMP
- 5) Piotr Bielawski, Akademia Morska w Szczecinie
- 6) Ryszard Pakos, ZUT w Szczecinie
- 7) Krzysztof Schabowicz, Politechnika Wrocławska
- 8) Przemysław Łopato, ZUT w Szczecinie

- 9) Jerzy Nowacki, ZUT w Szczecinie
- 10) Krzysztof Stawicki, ZUT w Szczecinie
- 11) Sławomir Mackiewicz, IPPT PAN, Warszawa
- 12) Barbara Grochowalska, ZUT w Szczecinie
- 13) Grzegorz Świt, Politechnika Świętokrzyska
- 14) Maciej Roskosz, AGH w Krakowie
- 15) Daniel Grochała, ZUT w Szczecinie
- 16) Adam Sajek, ZUT w Szczecinie

Seifert x|cube

Wszechstronny system rentgenowski do inspekcji w czasie rzeczywistym 2D z opcją tomografii 3D

Firma ITA spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp. k. jest wyłącznym dystrybutorem tomografów przemysłowych oraz kabin rentgenowskich firmy GE na terenie Polski.

Kluczowe cechy i zalety:

» system umożliwia szybką analizę rentgenowską 2D (opcjonalnie 3D)
 w celu wykrycia ukrytych wad materiałowych

- » szybka inspekcja odlewów w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym
- kabina w wersji z lampą 320 kV lub 450 kV może badać przedmioty o masie do 300 kg
- » wysuwany na zewnątrz manipulator ułatwiający załadunek
- >> maksymalne wymiary próbki 600x900 mm (800x1800 mm x|cube XXL)
- opatentowane, wysoce odporne na drgania ramię manipulatora
 w kształcie litery C, wychylające się w zakresie ±45°
- » opcjonalna funkcja CT do tworzenia wirtualnych przekrojów 3D oraz analizy ilościowej porowatości

ITA spółka z ograniczoną odpowiedzialnością sp. k. ul. Poznańska 104, Skórzewo, 60-185 Poznań Tel.:+48 61 222 58 00 e-mail: info@ita-polska.com.pl

Automatyczne wykrywanie defektów 2D (ADR) w aluminiowych odlewach

Precyzyjne lokalizowanie defektów oraz ilościowa analiza porowatości dzięki wykorzystaniu tomografii 3D

Inspekcja radiograficzna łopatek turbiny

Isman Khazi*, Andras Kovacs, Vaibhav Kumar, Pranav Dhumal, Ulrich Mescheder Institute of Microsystems Technology, Faculty of Mechanical and Medical Engineering, Furtwangen University

Microfabricated 2D planar eddy-current microcoils for the non-destructive testing of grinding burn marks

Mikrofabrykowane płaskie wiroprądowe mikrocewki 2D do nieniszczących badań błędów szlifierskich

ABSTRACT

Microtechnology based 2D planar eddy-current microcoils (µCoils) are simulated and fabricated for the detection of grinding burn marks in conductive materials such as industrial hard steels, which are predominantly used for manufacturing of structured parts using grinding. COM-SOL multiphysics simulation tool is used to simulate μ Coils with various geometries, namely: circular spiral, circular non-spiral and meander type geometry, to investigate the influence of the frequency on the resultant impedance of the $\mu Coil$ as a function of the grinding burn marks. The simulation results show that the impedance of the µCoil of all geometries varies in response to a 1500 µm wide grinding burn mark. The sensitivity of the µCoil to detect even grinding burn marks with 200 µm width is improved by modifying the wire width of the non-spiral µCoils. Furthermore, as a proof of concept non-spiral μCoils with varying number of turns (5,10 and 20) were fabricated using ferromagnetic nickel-cobalt alloys. The experimental results show that the impedance of the fabricated μ Coils varies as a function of the grinding burn mark present on a 42CrMo4 workpiece.

Keywords: 2D planar coils; grinding burn marks; non-destructive testing (NDT) and micro eddy-current sensor

STRESZCZENIE

Płaskie wiroprądowe mikrocewki 2D (µCoils) oparte na mikrotechnologii przebadano numerycznie a następnie wytwarzano w celu wykrywania śladów lokalnego przegrzania w materiałach przewodzących, takich jak przemysłowe stale twarde, które są głównie wykorzystywane do produkcji elementów konstrukcyjnych przy użyciu technologii szlifierskich. Oprogramowanie do numerycznych obliczeń wielofizycznych COMSOL zostało użyte do symulacji mikrocewek µCoil o różnych geometriach w celu zbadania wpływu częstotliwości na wynikową impedancję $\mu {\rm Coil}$ w funkcji szlifowania śladów przegrzania. Wyniki symulacji pokazują, że impedancja µCoil we wszystkich geometriach zmienia się pod wpływem śladu po szlifowaniu o szerokości 1500 µm. Wrażliwość µCoil na wykrywanie śladów przegrzania nawet o szerokości 200 μm jest poprawiona poprzez modyfikację szerokości drutu nie spiralnych mikrocewek. Ponadto, jako dowód słuszności koncepcji, wykonano niespiralne cewki o zmiennej liczbie zwojów (5,10 i 20) przy użyciu ferromagnetycznych stopów nikiel--kobalt. Wyniki eksperymentów pokazują, że impedancja wytworzonych mikrocewek zmienia się w zależności od śladu po szlifowaniu obecnego na elemencie wykonanym z 42CrMo4.

Słowa kluczowe: cewki płaskie 2D; szlifowanie śladów przegrzań; badania nieniszczące (NDT) i mikro przetwornik wiroprądowy

1. Introduction

The use of eddy-current technique is well-established as electromagnetic sensing method for the non-destructive testing (NDT) with excellent knowledge base and sophisticated test systems for the detection of material flaws such as cracks, pores, material structural changes etc. [1]. However, the conventional sensors (i.e. the wire wound eddy-current probes) are limited in their capability for the detection of small size workpieces (for e.g. miniaturized ball bearings etc.) and material defects in micrometer dimensions in the workpiece [2]. The feasibility of using planar eddy-current microcoils (μ Coils) fabricated using microtechnology for NDT of material flaws in the micrometer range, such as microcracks and micro-pores, has been reported by several research groups in the last two decades [3-5]. The significant advantage of using µCoils over conventional wire wound eddy-current probes is not only their higher sensitivity to detect material defects even in micrometer dimensions, but also their small size, which makes them capable of testing

miniatured workpieces [2,6]. Additionally, considering the current trend towards industry 4.0, the in-situ detection of material flaws during the material structuring can also be achieved by integration of miniaturized eddy-current μ Coils in the vicinity of the material processing tools for real-time smart process monitoring.

Apart from conventional existing material flaws such as cracks, holes etc., the prevalence of grinding burn marks has been of concern recently as a detrimental material flaw for the quality of the workpiece, which is fabricated using grinding [7,8]. The grinding burn marks are caused by excessive thermal energy, resulting in the local modification of the boundary region in the workpiece and thus changing the material structure and inducing localized residual stresses [7,9]. Therefore, an early detection of the grinding burn marks during the grinding process (which can facilitate in optimization of grinding parameters) and post fabrication testing, is of enormous importance in order to maintain the quality of the workpiece. The grinding burn marks can be detected with destructive or expensive methods such as Nitol etching or x-ray diffraction (XRD) [7]. Furthermore,

© 2019 Proceedings of 48th National Conference of Nondestructive Testing (KKBN), Wisła, Poland Published by "Badania Nieniszczące i Diagnostyka" SIMP Publishing Agenda DOI: 10.26357/BNiD.2019.012

^{*}Corresponding Author. E-mail: kmi@hs-furtwangen.de

recently NDT electromagnetic sensing methods such as Barkhausen noise methods and eddy current sensors have also been reported to be suitable for their detection [3-4]. However, the use of μ Coils for the detection of the grinding burn marks is not yet reported. Therefore, the feasibility of using μ Coils for the detection of grinding burn marks is shown in this work with the help of finite element method simulation of μ Coils and as proof of the concept preliminary experimental results are reported.

2. Concept of eddy-current testing using absolute probe

NDT using eddy-current technique works on the principle of electromagnetic induction, wherein the µCoil is driven by an alternating current of a certain frequency, which results in the formation of an alternating magnetic field around the µCoil, called as the primary magnetic field. When a conducting workpiece is approaching the µCoil, the alternating magnetic field results in swirling currents in the workpiece, referred to as the eddy-currents. The induced eddy-current produces their own magnetic field, which is referred as secondary magnetic field, which in turn opposes the primary magnetic field according to the Lenz's law. The presence of any material flaw on the workpiece, effects the nature in which the eddy-currents are induced. Consecutively, the primary magnetic field and the resultant impedance of the μ Coil are affected, thereby, facilitating the detection of the material flaws. The impedance (Z) of coil predominantly consists of the coil resistance (R) and inductance reactance (X_r) , which is the function of the inductance of the coil (L) and the frequency (f) as shown in equation 1. Furthermore, the capacitive reactance for an inductive coil is usually neglected. The resultant absolute impedance of a coil is the vector sum of the resistive part and the inductance reactance as shown in equation 2.

Resistance R (Ω)

Fig. 1. Schematic impedance plot trajectory of an absolute eddycurrent sensor for a ferromagnetic and non-ferromagnetic material.

Rys. 1. Schemat trajektorii impedancji czujnika wiroprądowego w konfiguracji absolutnej dla materiału ferromagnetycznego i nieferromagnetycznego.

$$X_I = 2\pi f L \tag{1}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \tag{2}$$

Furthermore, the impedance change in response to the conductive workpiece is different for ferromagnetic and non-ferromagnetic material as shown in impedance trajectory plot in Figure 1. The distance between the μ Coil and the workpiece, which is called "lift-off" is critical for the operation of the sensor. As the sensor μ Coil is brought in the proximity of a non-ferromagnetic workpiece such as aluminum, copper etc., the induced eddy-currents adversely affects the primary magnetic field of the µCoil thereby, decreasing the inductance reactance of the coil and the energy used for inducing eddy-current, which is dissipated as heat, resulting in increasing the resistive part of the µCoil. Besides, when a ferromagnetic material such as steel is brought in proximity of the sensor μ Coil, the primary magnetic field of the µCoil is amplified owing to the high permeability of the ferromagnetic workpiece. Consecutively, the inductive reactance of the μ Coil is increasing along with resistive part. However, the inductive reactance increase is predominant in case of ferromagnetic workpiece. In presence of a material flaw such as grinding burn mark, the conductivity in case of the non-ferromagnetic material and the permeability in case of ferromagnetic material is affected. Consecutively, the nature of the induced eddycurrent changes; thereby, affecting the resultant impedance of the μ Coil. In principle, the impedance of the μ Coil increases to Z_{WD} from its primary value Z_{air} (i.e. when the sensor µCoil is in air) in presence of a conductive workpiece and it reduces to $\mathbf{Z}_{\rm bm}$ in presence of any material flaws. The eddy-current probes can be used in various configurations. When a single μ Coil is used, then it is referred to as an absolute sensor, wherein the impedance of the µCoil is affected by the presence of the material flaws in the workpiece. Furthermore, when two µCoils are used (operates based on transformation principle), wherein one µCoil serves as sending coil (which is driven by AC current) and the other serves as the receiver coil. The voltage of the receiver coil changes as a function of material flaw and hence serves as the detection signal. However, from the microfabrication point of view, an absolute sensor can be fabricated with ease as it involves less fabrication steps, therefore an absolute sensor is considered in this work.

Simulation of MEMS eddy-current μCoils Simulation construction and definition of the grinding burn marks

 μ Coils can be of various geometries for rectangular spiral type, circular spiral type, non-spiral type, meander type, etc. However, each one of them have their own advantages and disadvantages. Furthermore, to use a μ Coil as eddy-current probe, it should have ideally high inductance (L) value (to produce stronger magnetic field) and low resistance (R) to avoid ohmic losses. High L can be obtained by decreasing the distance between the individual wires and increasing the number of turns (which adversely affect R) in the μ Coil and R can be reduced by increasing the thickness of the individual wires in the $\mu Coil$. The impedance characteristics of the absolute $\mu Coils$ are simulated using COMSOL Multiphysics software with AC/DC module. Circular spiral type, circular non-spiral type and meander type $\mu Coil$ geometries are simulated for the detection of the grinding burn marks.

freq(1)=450 kHz Streamline: Magnetic field Contour: Magnetic flux density, z component (mT)

Fig. 2. (a) 3D simulation setup consisting of μ Coil, grinding burn mark (depth 100 μ m) and 42CrMo4 workpiece, (b) simulated magnetic field of the non-spiral μ Coil at 450 kHz

Rys. 2. (a) Konfiguracja modelu symulacji 3D składająca się z µCoil, śladu przegrzania po szlifowaniu (głęb. 100 µm) i badanego elementu wykonanego z 42CrMo4, (b) obliczony przebieg pola magnetycznego dla cewki niespiralnej przy częstotliwości 450 kHz.

On contrary to microcracks, which can be defined as air spaces in workpiece for simulation purpose, the definition of grinding burn mark is more challenging, as there are no defined norms for the grinding burn marks. They occur in the workpiece due to excessive localized heating and sudden cooling with lubricants during the grinding process, thereby, resulting in thermal damage in the boundary layer with complex material changes involving changes in hardness, residual stress, conductivity (σ) and relative permeability (µr). For the simulations, low alloyed high-grade chromemolybdenum ferritic steel, i.e. 42CrMo4, is considered as the workpiece, which is one of the common materials used for grinding processes. In the simulation, the grinding burn marks can be defined as the change in μr and σ of the workpiece. Considering the ferromagnetic nature of the selected workpiece 42CrMo4, the change in µr is considered predominant (as described in section 2) and therefore, used as material parameter for the definition of the grinding burn mark. A 3D simulation setup consisting of the µCoil, grinding burn mark and the workpiece is constructed as shown in

Figure 2 (a). The distance between the μ Coil and workpiece (42CrMo4: 1500 μ m², height 500 μ m) is set to 700 μ m for all the simulations, a value used typically in conventional eddy-current set-ups. Figure 2 (b) shows the primary magnetic field produced by circular non-spiral coil (5 turns, copper wire with width, thickness and distance between the wires all chosen as 20 μ m) in response to 80 mA alternating current at 450 kHz frequency.

Fig. 3. (a) Simulated induced eddy-current in the workpiece without grinding burn mark in response to the primary magnetic field of the circular non-spiral μ Coil at 450 kHz, 80 mA. (b) Simulated normalized impedance of the μ Coil as changing relative permeability of the workpiece (42CrMo4).

Rys. 3. (a) Obliczony prąd wirowy zaindukowany w elemencie obrabianym nieposiadającym śladu przegrzania szlifierskiego w odpowiedzi na pierwotne pole magnetyczne okrągłej nie spiralnej cewki przy 450 kHz, 80 mA. (b) Obliczona znormalizowana impedancja cewki µCoil jako zmieniająca się względna przenikalność przedmiotu badanego (42CrMo4).

3.2 Simulation results

In order to test the sensitivity of the μ Coil to varying relative permeability, the impedance response of the μ Coil to variable μ r (0-1000) of the workpiece without grinding burn mark is initially simulated. Figure 3(a) shows the induced eddy-current in the workpiece (42CrMo4) in response to the alternating primary magnetic field of the circular non-spiral μ Coil driven at 80 mA and 450 kHz frequency. Figure 3(b) shows the impedance difference of the μ Coil as a function of varying μ r of the workpiece. As discussed in section 2, the inductive reactance predominantly increases for ferromagnetic materials and with higher µr the primary magnetic field is further amplified (similar effect as resulted by magnetic core), thereby, increasing Z of the µCoil as shown in Figure 3(b). However, with μ r>60 the affect gradually saturates and consecutively the change in Z also saturates. The grinding burn mark of 100 µm thickness is defined on the workpiece as shown in Figure 2(a) and the width of it is varied in two extremities namely: 200x1500 µm and 1500x1500 µm. The material property that differentiates the grinding burn mark from the workpiece is μ r, it is defined for the starting conditions as 20 and 28 for the grinding burn mark and the workpiece, respectively. Three different µCoil geometries, chosen in respect to fabrication issues namely: circular non-spiral, circular spiral and meander type geometries are simulated as shown in Figure 4(a-c), respectively. Wherein, the geometry in Figure (a) and (c) can be realized by one layer microfabrication whereas type (b) needs to layers and thus is more complex to realize by planar microfabrication. For the simulation, the µCoils wires are defined as copper with a width, height and inter-wire distance of each 20 µm, respectively. A constant area of 0.125 mm² is used for the µCoil of all the geometries.

Fig. 4. μ Coil geometries selected for the simulation (a) circular non-spiral μ Coil, (b) circular spiral μ Coil and (c) meander type μ Coil.

Rys. 4. Geometria cewki μCoil wykorzystana w trakcie symulacji (a) okrągła niespiralna μCoil, (b) spirala okrągła cewka μCoil i (c) meandralna cewka μCoil.

Figure 5 (a) shows the impedance response of the μ Coil (non-spiral circular) in air for a parametric frequency sweep between 100 kHz-500 kHz, wherein Z increases as function of frequency (as shown in equation 1). The frequency range was selected considering the fact that the grinding burn marks are more superficial when compared to other material flaws and the eddy-current depth penetration (δ) is inversely proportional to frequency as shown in equation

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \sigma \mu_r}} \tag{3}$$

The change in impedance for non-spiral 5 turns μ Coil is negligible for the grinding burn mark of 200 μ m width and increases for the 1500 μ m wide grinding burn mark as shown in Figure 5(b) and specifically for 450 kHz frequency as a function of measurement condition in Figure 5(c). In the presence of the workpiece, the impedance of the μ Coil increases from Zair to Zwp owing to induced eddycurrents. Furthermore, in presence of grinding burn marks the nature of the induced eddy-current is affected by the lower μ r of the grinding burn marks, thereby, reducing the impedance from Zwp to Zbm. Moreover, f range used in the simulation of the μ Coil does not influence significantly the Z of μ Coil as a function of grinding burn mark as shown in Figure 5(b). The Z response of the meander type and of the spiral μ Coil to the presence of grinding burn mark is shown in Figure 6(a) and (b), respectively. Figure 6(c) shows the Z response of spiral μ Coil at 450 kHz, which shows the Z shift in relation to the measurement condition. Furthermore, the circular non-spiral μ Coil was modified by increasing the wire width (w) using the equation (4), where n is the number of individual wires from the innermost circle of μ Coil. The inter-wire distance and thickness of wire was similar as the previous μ Coils and the resultant μ Coil geometry is shown in Figure 7(a) and its impedance response is shown in Figure 7(b).

Fig. 5. Simulated Z response of the circular non-spiral μ Coil (a) μ Coil in air as a function of frequency, (b) as a function of grinding burn mark (200 μ m width and 1500 μ m width) and (c) as a function of μ Coil measurement condition at 450 kHz.

Rys. 5. Symulowana odpowiedź impedancji Z okrągłej niespiralnej cewki μ Coil (a) dla μ Coil w powietrzu w funkcji częstotliwości, (b) wyrażona jako funkcja śladu szlifowania (szerokość 200 μ m i szerokość 1500 μ m) oraz (c) wyrażona jako funkcja warunków pomiaru μ Coil przy 450 kHz.

Fig. 6. Simulated Z response of the μ Coil for (a) meander type μ Coil, (b) circular spiral μ Coil and (c) as a function of circular spiral μ Coil measurement condition at 450 kHz.

Rys. 6. Symulowana odpowiedź impedancji Z μ Coil dla (a) meandralnej cewki, (b) spiralnej cylindrycznej cewki μ Coil i (c) w funkcji warunków pomiaru spiralnej cylindrycznej cewki przy częstotliwości 450 kHz.

The magnitude of impedance change (i.e. $\Delta Z = Z_{wp} - Z_{bm}$) depends on the intensity of the grinding burn mark and its dimensions. The ΔZ values for all the 4 different simulated μ Coil geometries are shown in Figure 7(c) as a function of width of the grinding burn mark. The ΔZ value of non-spiral and meander type coil is smallest and almost similar, among all geometries. They could not detect the grinding burn mark with 200 μ m width. The largest ΔZ value is obtained for the modified non-spiral µCoil for both 200 µm width and 1500 µm width grinding burn mark as shown in Figure 7(c). This can be attributed to the increased magnetic field strength produced by the modified geometry of the µCoil, which resulted in a more pronounced induction of eddycurrents in the workpiece. Also, the spiral µCoil can detect both, small and large width grinding burn marks. However, from the microfabrication point of view it is complex as it requires the bridge connection from the innermost wire to

the contact pad. Therefore, the modified non-spiral μ Coil provides a better geometrical design for microfabrication.

Fig. 7. (a) Modified circular non-spiral μ Coil with varying wire width (red) as defined in eq. (4), (b) impedance response of modified non-spiral μ Coil as function of grinding burn mark and (c) comparison of the impedance difference (Δ Z) for the varying geometries of μ Coils at 450 kHz.

Rys. 7. (a) Zmodyfikowana cylindryczna niespiralna cewka μ Coil o zmiennej szerokości drutu (czerwony kolor) zgodnie z definicją w równaniu. (4), (b) odpowiedź impedancyjna zmodyfikowanego niespiralnej cewki wyrażona jako funkcja śladu szlifowania oraz (c) porównanie różnicy impedancji (Δ Z) dla różnych geometrii cewki przy częstotliwości 450 kHz.

4. Experimental results

4.1 Microfabrication of eddy-current µCoils

For the proof of concept μ Coils were fabricated using ferromagnetic nickle-cobalt alloys, however, copper μ Coil will also be fabricated for future work. The microfabrication of the μ Coils was done on 4 inch (100) monocrystalline silicon wafers sputter coated with titanium (Ti) and platinum (Pt) 20 nm and 100 nm thick, respectively. The Ti layer was used as the adhesion promoter for the Pt plating base. AZ4652 positive photoresist was spin coated on the wafer at 700 rpm

BADANIA NIENISZCZĄCE I DIAGNOSTYKA 3 (2019) Nondestructive testing and diagnostics

Fig. 8. Fabricated circular non-spiral μ Coils using ferromagnetic nickel-cobalt alloy with 10 turns with wire width 50 μ m, thickness 20 μ m and inter-wire distance 20 μ m (a) μ Coil on a glass chip, (b) SEM micrograph of 10 turns μ Coil and (c) magnified SEM micrograph.

Rys. 8. Wytworzone okrągłe niespiralne cewki μ Coil przy użyciu ferromagnetycznego stopu niklowo-kobaltowego z 10 zwojami o szerokości drutu 50 μ m, grubości 20 μ m i odległością między drutami 20 μ m (a) cewka μ Coil na chipie szklanym, (b) mikrografia SEM 10 zwojów μ Coil i (c) powiększony mikrograf SEM.

Tab. 1. Electrolyte constituents for the electrodeposition of μ Coils using ferromagnetic nickel-cobalt alloys.

Tab. 1. Składniki elektrolitu do elektroosadzania cewek μCoil przy wykorzystaniu ferromagnetycznych stopów niklowo-kobaltowych.

Eelctrotyle constituent	Concentration	
$Ni(NH_2SO_3)2 \cdot 6H_2O$	1.8 mol/l	
$Co(NH_2SO_3)2 \cdot 6H_2O$	0.03 mol/l	
H ₃ BO ₃	0.5 mol/l	
Deionized H ₂ O	14 mol/l	
Bath pH value	4.5	
Temperature	45°±2°C	

Fig. 9. Experimental characterization of non-spiral μ Coil for the detection of 5mm width grinding burn marks on 42CrMo4 workpiece, (a) Z response of 5 turn μ Coil as a function of frequency, inset: Z in the linear range around 100 kHz,(b) Z response of 5 turn μ Coil at 100 kHz and (c) Δ Z of non-spiral μ Coil with 5, 10 and 20 turns for 5 mm grinding burn mark.

Rys. 9. Eksperymentalna charakterystyka niespiralnej cewki μ Coil do wykrywania śladów po szlifowaniu o szerokości 5 mm na elemencie 42CrMo4, (a) Odpowiedź impedancji Z dla 5 zwojów cewki μ Coil w funkcji częstotliwości, rysunek wewnątrz: Z w zakresie liniowym w okolicy 100 kHz, (b) odpowiedź Z dla 5 zwojów cewki μ Coil przy 100 kHz oraz (c) Δ Z niespiralnej cewki μ Coil z 5, 10 i 20 zwojami dla 5 mm śladu szlifierskiego.

spin speed, 2000 rpm/sec acceleration for 30 seconds to get a 20 μ m photoresist thickness, which was followed by a prebake step on hotplate at 100°C for 50 seconds. The circular non-spiral μ Coil geometry with 5, 10 and 20 turns with wire width = 50 μ m and inter-wire distance = 20 μ m was exposed on the wafer coated with photoresist using Karl Suss MA6 mask aligner with using mercury lamp with I-line wavelength of 365.4 nm for 90 seconds. Post exposure, the photoresist was developed in the solution containing deionized water and AZ315B in 4:1 ratio for 6 minutes, which was followed by post bake step on hotplate at 115°C for 50 seconds. Before the electrodeposition process, the wafer was dipped in buffered hydrofluoric acid for 30 seconds to activate the surface. The electrodeposition was carried in the sulfamate bath (the electrolyte composition is shown in Table I) containing nickel and cobalt ions at 5 mA/cm² for 40 minutes to get 20 μ m thick μ Coils with an alloy containing 30wt% cobalt. Post electrodeposition the μ Coils were transferred from the silicon wafer to a glass chips (5 x 10 mm) and were held on it by polymer adhesive film for the characterization of the μ Coils taken by scanning electron microscope (SEM) are shown in Figure 8(b-c) for 10 turn non-spiral μ Coil.

4.2 Characterization of the µCoils

The contact pads of the μ Coil were soldered with 400 μ m diameter zinc coated copper wires to connect the µCoils with a Hioki 3522-50 LCR meter (limited to frequencies up to 100 kHz). The impedance and inductance of the µCoils as a function of the grinding burn marks was recorded. 42CrMo4 was used as the workpiece which had 5mm width grinding burn marks on it. The impedance of the µCoil was recorded at frequencies of 1, 10, 50, 75 and 100 kHz in three measurement conditions, namely: in air and on 42CrMo4 with and without burn mark. A constant lift-off of 500 µm defined by the thickness of the glass chip on which the µCoil was held as shown in Figure 8(a). This value is close to the 700 µm chosen for simulation. Similar to the simulation results, the Z value of the µCoil increases in presence of a conductive material in its proximity and then decreases in response to material flaws such as grinding burn marks in this case as shown in Figure 9(a-b) for 5 turn μ Coil at 100 kHz. The ΔZ of the μ Coil with 5, 10 and 20 turns is shown in Figure 9(c), wherein, on one hand the signal strength i.e. ΔZ increases as a function of coil frequency. While, on the other hand the ΔZ value decreases as the μ Coils number of turns increases, which can be attributed to the stronger magnetic field created, which are then amplified by ferromagnetic 42CrMo4, which partly dominates the effect of the grinding burn mark. In comparison to the simulation results, the ΔZ value in case of the fabricated µCoils is higher, which can be attributed to the 50 µm width of the wire, the ferromagnetic nickel-cobalt alloys use for the fabrication of the µCoils and the wider grinding burn mark with a width of 5 mm.

5. Discussion and conclusion

Microfabricated planar μ Coils with different geometries as absolute eddy-current sensors to detect grinding burn marks on 42CrMo4 workpiece have been simulated. The impedance of the μ Coils with varying geometries (i.e. circular non-spiral μ Coil, circular spiral μ Coil and meander type μ Coil) changed in response to the presence of grinding burn mark, thereby aiding in their detection. The impedance response of the circular non-spiral and meander type μ Coil is found to be almost similar. While the impedance response of circular spiral µCoil was better than the other two geometries, however from the microfabrication point of view its fabrication is complex. Therefore, the circular non-spiral µCoil was modified by increasing the width of non-circular spiral coil in a linear manner, whereby, the sensitivity and the strength of the impedance difference of µCoil in response to the grinding burn mark (for both 200 µm width and 1500 µm width grinding burn marks) is significantly improved. Furthermore, as proof of concept circular non-spiral µCoils with 5, 10 and 15 turns were fabricated using ferromagnetic nickel-cobalt alloys. The experimental results show that the impedance of the fabricated µCoil change in response to the grinding burn mark on 42CrMo4, thereby, confirming the feasibility of the application of µCoils for detection of grinding burn marks. Owing to their miniaturized size, these sensors can be embedded in the grinding tool for the real time in-situ monitoring of the grinding burn marks and other material flaws and also for the detection of grinding burn marks in µm dimensions.

Acknowledgement

The authors would like to thank the "Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg"and "Europäische Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)" for funding this research in the framework of the project "SensoGrind" (FEIH_KMU_1100458).

6. References/Literatura

- [1] P.E. Mix, Introduction to nondestructive testing: A training guide, 2nd ed., Wiley, Hoboken N.J., 2005.
- [2] Y. Hamasaki, T. Ide, Fabrication of multi-layer eddy current micro sensors for non-destructive inspection of small diameter pipes, in: Proceedings IEEE Micro Electro Mechanical Systems. 1995, IEEE, 29 Jan.-2 Feb. 1995, 232.
- [3] D.J. Sadler, S. Gupta, C.H. Ahn, Micromachined spiral inductors using UV-LIGA techniques, IEEE Trans. Magn. 37 (2001) 2897–2899.
- [4] D.J. Sadler, C.H. Ahn, On-chip eddy current sensor for proximity sensing and crack detection, Sensors and Actuators A: Physical 91 (2001) 340–345.
- [5] M. Pan, Y. He, R. Xie, W. Zhou, The influence of MEMS on electromagnetic NDT, IEEE, 20.06.2014 - 23.06.2014, 363–367.
- [6] H.H. Gatzen, E. Andreeva, H. Iswahjudi, Eddy-current microsensor based on thin-film technology, IEEE Trans. Magn. 38 (2002) 3368–3370.
- [7] M.W. Seidel, A. Zösch, K. Härtel, Grinding burn inspection, Forsch Ingenieurwes 82 (2018) 253–259.
- [8] Antje ZÖSCH, Christopher SEIDEL, Konstantin HÄRTEL, Martin Wolfgang SEIDEL Josef MAIER, Gerhard NEUN, Detection of Near Surface Damages in Crank Shafts by Using Eddy Current Testing, 19th World Conference on Non-Destructive Testing 2016.
- [9] M.K. Sinha, D. Setti, S. Ghosh, P. Venkateswara Rao, An investigation on surface burn during grinding of Inconel 718, Journal of Manufacturing Processes 21 (2016) 124–133.

LUKASIEWICZ

SIEC BADAWCZA ŁUKASIEWICZ - INSTYTUT SPAWALNICTWA

BADANIA WIZUALNE ZŁĄCZY SPAWANYCH AUTOMOTIVE - VTA

Masz kłopot ze standaryzacją w kontroli jakości?

Problem ze zrozumiem wymagań jakościowych?

Oferujemy szkolenia, doradztwo i wsparcie w zakresie:

- analizy zgładów metalograficznych (głębokość wtopienia, szerokość wtopienia, analiza grubości spoiny pachwinowej),
- inspekcji wizualnej w cyklu produkcyjnym,
- opracowania wytycznych, specyfikacji i dokumentacji jakościowej.

Szkolenia realizowane są w zakresie norm i wymagań:

- PN EN ISO 5817,
- PN EN ISO 10042,
- PN EN ISO 13919-1 i 2,
- PN EN ISO 12932,
- każdej specyfikacji branżowej:
 VW, PSA, FORD, TOYOTA, FCA GROUP, DAIMLER, BMW (GS),
- innych wymagań klienta.

RADIOGRAFIA CYFROWA

Potencjał badawczy:

- lampy rentgenowskie, napięcie przyspieszające: 200, 300 kV,
- 16-bitowy detektor cyfrowy o wymiarze pixela 100 µm i wymiarze aktywnym 432 x 355 mm.

Wsparcie, badania i usługi:

- prowadzenie badań radiograficznych techniką cyfrową i analogową w zakresie:
 - złączy spawanych,
 - odlewów wg katalogów ASTM: E2973 (E505), E2422 (E155), E2660 (E192), E2868 (E446),
- weryfikacja i ocena elementów eksploatowanych,
- ekspertyzy, ocena diagnostyczna,
- badanie ubytków korozyjnych.

W PRZYGOTOWANIU SZKOLENIE Z ZAKRESU:

Radiografii cyfrowej i komputerowej (certyfikacja i kwalifikacja wg PN EN ISO 9712).

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

NAUKA DLA PRZEMYSŁU

Łukasz Sarniak¹*, Maciej Szwed¹, Aleksandra Krawczyk², Mateusz Andraczke², Andrzej Zagórski¹ ¹Wydział Inżynierii Materiałowej, Politechnika Warszawska ²Huta Bankowa Sp. z o.o., Dąbrowa Górnicza

Wdrożenie technologii zautomatyzowanej kontroli jakości pierścieni i obręczy, przeznaczonych dla producentów taboru kolejowego, metodą ultradźwiękową

Implementation of automated quality control technology of rings and rims, intended for rolling stock producers, by ultrasonic testing

ABSTRACT

Huta Bankowa, which is the only Polish manufacturer of rims for rolling stock manufacturers, as part of the development of its research potential and the quality of the products it offers, is planning to implement automated ring and rim ultrasonic testing technology in the near future. In this paper, the entire technological system of automated rim testing, owned currently by Huta Bankowa, was presented, with a special discussion of the ultrasonic examination stand. The assumptions concerning the designed testing system, using the latest technological solutions and selected results of numerical simulations of ultrasonic tests, made by CIVA software, on the basis of which the assumptions were made were also presented

Keywords: ultrasonic testing; rolling stock; rims; rings; Phased Array

STRESZCZENIE

Huta Bankowa, która jest jedynym polskim producentem obręczy przeznaczonych dla producentów taboru kolejowego, w ramach rozwoju swojego potencjału badawczego i podwyższenia jakości oferowanych wyrobów, w najbliższym czasie planuje wdrożyć technologię zautomatyzowanej kontroli jakości pierścieni i obręczy metodą ultradźwiękową. W ramach niniejszego artykułu zaprezentowano cały ciąg technologiczny badania obręczy w cyklu zautomatyzowanym, będący obecnie na wyposażeniu Huty Bankowej, ze szczególnym omówieniem stanowiska do badań ultradźwiękowych. Przedstawiono także założenia dotyczące projektowanego stanowiska badawczego, wykorzystującego najnowocześniejsze rozwiązania technologicznie oraz wybrane wyniki symulacji numerycznych badań ultradźwiękowych, wykonanych za pomocą oprogramowania CIVA, na których podstawie przeprowadzono weryfikację przyjętych założeń.

Słowa kluczowe: badania ultradźwiękowe; tabor kolejowy; obręcze; pierścienie; Phased Array

1. Wstęp

Celem zwiększenia potencjału badawczego Huty Bankowej jest uzyskanie możliwości oferowania na rynku wyrobów kuto-walcowanych o jakości potwierdzonej w wiarygodnym oraz innowacyjnym procesie badań i kontroli, realizowanym z wykorzystaniem najnowocześniejszych rozwiązań w przyjętych założeniach konstrukcyjnych. Firma stoi przed wyzwaniem spełnienia wysokich oczekiwań odbiorców co do powtarzalności jakości produktów oraz skrócenia czasu realizacji zamówień. Celem nadrzędnym jest spełnienie rygorystycznych wymagań związanych z bezpieczeństwem transportu kolejowego, a obręcze kuto-walcowane jako element zestawu kołowego stanowią wyroby szczególnego ryzyka.

Huta Bankowa jako jedyny polski producent obręczy, od wielu lat angażuje się w przedsięwzięcia mające na celu poprawę bezpieczeństwa w transporcie kolejowym oraz sukcesywne podwyższanie jakości stosowanych technologii i materiałów. W tym kontekście, w najbliższej przyszłości, wszystkie produkty firmy przechodziły będą pełny cykl

*Autor korespondencyjny. E-mail: lukasz.sarniak@pw.edu.pl

badania automatycznego, uwzględniającego pomiary twardości i badania ultradźwiękowe. Badania mają na celu wykrycie defektów mogących pojawić się na etapie wytwarzania, takich jak zakucia, zawalcowania, pęknięcia, nieciągłości pochodzenia metalurgicznego – zażużlenia, wtrącenia etc.

Ponieważ konkurencję na rynku pierścieni kuto-walcowanych stanowią producenci zagraniczni, o renomowanej marce, ugruntowanej pozycji i bogatym zapleczu aparaturowym, inwestycja w rozwój metodyki badawczej jest szczególnie istotna w kontekście zachowania wysokiej konkurencyjności firmy.

Opis obecnego stanowisko do badań ultradźwiękowych

Obecnie ciąg technologiczny badania obręczy w cyklu zautomatyzowanym składa się z następujących urządzeń:

- Stanowiska śrutownicy do mechanicznego oczyszczania powierzchni obręczy ze zgorzeliny;
- Manipulatora transportowego do przemieszczania obręczy między stanowiskami;
- Stanowiska do badań ultradźwiękowych (UMT 45);

Stanowiska odkładczego z segregacją obręczy na dobre

^{© 2019} Proceedings of 48th National Conference of Nondestructive Testing (KKBN), Wisła, Poland Published by "Badania Nieniszczące i Diagnostyka" SIMP Publishing Agenda DOI: 10.26357/BNiD.2019.013

i wadliwe;

Stanowiska do pomiarów twardości.

Badanie ultradźwiękowe obręczy realizowane jest za pomocą zautomatyzowanego stanowiska UMT 45

(Rys. 1), wykorzystującego głowice ultradźwiękowe w układzie zanurzeniowym, zorientowane w kierunku osiowym i promieniowym. Badanie ultradźwiękowe obręczy realizowane jest za pomocą statycznego zestawu głowic rozmieszczonych po obwodzie i po szerokości obręczy obracającej się w wannie.

Rys. 1. Zdjęcie stanowiska UMT 45 **Fig. 1.** UMT 45 stand picture

Rys. 2. Rozmieszczenie oraz typy głowic dla profili kolejowych i tramwajowych

Fig. 2. Location and types of probes for rail and tram profiles

Badanie obręczy jest realizowane w dwóch zakresach wymiarowych. Wanna ma dwa zespoły rolek napędowych - dla obręczy mniejszych, o średnicy zewnętrznej poniżej 760 mm oraz dla obręczy większych, o średnicy zewnętrznej powyżej 760 mm. Do badania profili kolejowych przewidziano sześć głowic, w tym cztery od strony powierzchni tocznej (K3, K4, K5 i K6) ze względu na skomplikowaną powierzchnię. Z kolei do badania profili tramwajowych zastosowano 4 głowice, w tym tylko 2 głowice od strony powierzchni tocznej (T9 i T10), ze względu na mniejszą szerokość i prostą powierzchnię toczną. Na Rys. 2 przedstawiono rozmieszczenie głowic dla pozycji kolejowej i tramwajowej.

Każda z głowic kontroluje inny obszar obręczy, a manipulacja przesuwami (osiowym i promieniowym) umożliwia dostosowanie obszaru kontroli dla różnych średnic i szerokości obręczy.

Opis projektowanego stanowisko do badań ultradźwiękowych

W celu zwiększenia potencjału badawczego Huty Bankowej zdecydowano się na wdrożenie technologii zautomatyzowanej kontroli jakości pierścieni i obręczy, przeznaczonych dla producentów taboru kolejowego, z inteligentnym systemem identyfikacji i pomiaru wad wewnętrznych metodą ultradźwiękową. Założony cel jest realizowany poprzez prowadzenie badań przemysłowych i prac rozwojowych, pozwalających na rozwój metodyki badawczej i rozwiązanie zidentyfikowanych zagadnień technologicznych. W tym kontekście wykorzystywane jest między innymi zaawansowane oprogramowanie do badań ultradźwiękowych CIVA [1, 2, 3].

Obecny proces kontroli ultradźwiękowej obręczy wielkoseryjnych, prowadzony na stanowisku badawczym UMT-45 generuje pewne problemy, wynikające z ograniczonych możliwości głowic jednoprzetwornikowych, a proces kontroli pierścieni oraz obręczy niskoseryjnych wciąż prowadzony jest ręcznie. Zastosowanie techniki Phased Array pozwoli na dokładne zaprojektowanie wiązki względem oczekiwanych stref przeszukiwania, co umożliwi diagnostykę niedostępnych obszarów krytycznych dotychczas niebadanych, w tym grzebienia obręczy, a w przypadku pierścieni profilowanych o skomplikowanych kształtach – całego przekroju wyrobu bez konieczności zastosowania kilku głowic jednoprzetwornikowych o różnych kątach wprowadzanej wiązki ultradźwiękowej lub czasochłonnego wielokrotnego badania ze zmianą położenia głowic lub elementu badanego (Rys. 3). Skrócenie czasu badania oraz pełna detekcja nieciągłości wewnętrznych poprawi wiarygodność procesu kontroli.

Obecnie analiza wyników badań oparta jest o ocenę zobrazowań typu A (A-Scan), dającą ograniczone możliwości w kontekście precyzyjnej identyfikacji defektów i wymagającą odpowiedniego doświadczenia operatora. Zastosowanie techniki Phased Array i głowic wieloprzetwornikowych umożliwi tomograficzne zobrazowanie badanego elementu, pozwalające na precyzyjną ocenę uzyskanych wyników - lokalizację, wymiarowanie, określenie orientacji i morfologii defektów oraz znaczne ograniczenie błędu ludzkiego [4].

Zastosowanie głowic wieloprzetwornikowych w trybie zanurzeniowym pozwoli dodatkowo na ograniczenie "strefy martwej", przy zachowaniu dotychczasowej czułości badania [4, 5]. Oszacowano, że przełoży się to na około dwukrotne zmniejszenie obszaru niebadanego, a co za tym idzie, objęcie diagnostyką stref podpowierzchniowych szczególnie narażonych na występowanie defektów, wynikających z jakości materiałów wsadowych, jak również ze specyfiki stosowanych procesów przeróbki plastycznej. Zmniejszenie strefy martwej jest kluczowe w kontekście diagnostyki naddatku materiału usuwanego podczas obróbki mechanicznej. Wady występujące w tym obszarze mogłyby pojawić się dopiero na etapie usuwania naddatku, narażając na dodatkowe koszty.

Zastosowanie techniki zanurzeniowej w diagnostyce pierścieni gorącowalcowanych, badanych dotychczas ręcznie, pozwoli wyeliminować wpływ niedoskonałości powierzchni (zadziory, ubytki, wgnioty) na wynik badania oraz uniknąć możliwych uszkodzeń lub szybkiego zużywania się aparatury badawczej. Automatyzacja procesu tego badania pozwoli dodatkowo na znaczne skrócenie badania i wzrost wydajności operacji kontrolnych, co bezpośrednio wpłynie na skrócenie czasu realizacji zamówień. Obecnie kontrolowane jest jedynie około 30% wyprodukowanych pierścieni i obręczy niskoseryjnych. W najbliższej przyszłości planuje się, aby wszystkie produkty wytwarzane przez Hutę Bankową przechodziły pełny cykl badania automatycznego, w celu wykrycia wad znajdujących się pod powierzchnią (m.in. zawalcowań, zakuć) oraz nieciągłości pochodzenia metalurgicznego przeniesione ze wsadu, jak zażużlenia czy wtrącenia. Jest to kluczowe w kontekście zapewnienia wysokiej jakości produktów dostarczanych klientom.

Rys. 3. Rozmieszczenie obecnie nie badanych obszarów krytycznych i trudno dostępnych: a) pierścień, b) obręcz **Fig. 3.** Fig. 3. Arrangement of currently untested critical areas and hardly accessible areas: a) ring, b) rim

W ramach projektowanego stanowiska, badania ultradźwiękowe prowadzone będą metodą zanurzeniową, za pomocą systemu wyposażonego w głowice wieloprzetwornikowe i system Phased Array. Zastosowanie głowic wieloprzetwornikowych pozwoli na skanowanie całej objętości elementu z uwzględnieniem obszarów obecnie niebadanych, a narażonych na występowanie nieciągłości, a także szczególnie obciążonych podczas eksploatacji gotowych elementów (Rys. 3). Wykorzystanie profilowania wiązki ultradźwiękowej w badanych wyrobach umożliwi, w przypadku produktów o geometrii prostej (przekrój prostokątny lub kwadratowy), skanowanie obszarów trudno dostępnych (m.in. naroża), a w przypadku wyrobów profilowanych (obręcze, pierścienie łożyskowe), pozwoli na koncentrowanie wiązki ultradźwiękowej w celu dokładniejszego wykrywania wad w strefach krytycznych (m.in. grzebienie obręczy lub powierzchnie profilowane pod bieżnie łożysk).

Na Rysunkach 4 - 7 przedstawiono wybrane wyniki symulacji badań ultradźwiękowych, przeprowadzone za pomocą oprogramowania CIVA. Na Rysunku 4 i 5 przedstawiono model profilu kolejowego z zaimplementowanym modelem wady w postaci pęknięcia, zlokalizowanym w obszarze trudno dostępnym. Rysunki przedstawiają także symulację interakcji wiązki ultradźwiękowej z napotkanymi reflektorami dla badania w trybie sektorowym (ang. Sectorial Scan) oraz zobrazowanie typu S.

Rys. 4. Model profilu kolejowego i model głowicy wieloprzetwornikowej oraz symulacja interakcji wiązki ultradźwiękowej z napotkanymi reflektorami – kierunek osiowy

Fig. 4. Rail profile model, Phased Array probe model and simulation of ultrasonic beam interaction with encountered reflectors - axial direction

Rys. 5. Model profilu kolejowego i model głowicy wieloprzetwornikowej oraz symulacja interakcji wiązki ultradźwiękowej z napotkanymi reflektorami – kierunek promieniowy

Fig. 5. Rail profile model, Phased Array probe model and simulation of ultrasonic beam interaction with encountered reflectors - radial direction

Wyniki przeprowadzonych symulacji jednoznacznie dowodzą, że wady umiejscowione w obszarach krytycznych, oznaczonych na Rys. 3, będą mogły zostać skutecznie wykryte za pomocą zaprojektowanego systemu.

Rys. 6. Model profilu kolejowego i model głowicy konwencjonalnej oraz symulacja interakcji wiązki ultradźwiękowej z napotkanymi reflektorami i uzyskane zobrazowanie typu A

Fig. 6. Rail profile model, conventional probe model, simulation of ultrasonic beam interaction with encountered reflectors and obtained A-Scan

Rys. 7. Model profilu kolejowego i model głowicy wieloprzetwornikowej oraz symulacja interakcji wiązki ultradźwiękowej z napotkanymi reflektorami i uzyskane zobrazowanie typu S **Fig. 7.** Rail profile model, Phased Array probe model, simulation of ultrasonic beam interaction with encountered reflectors and

S-Scan

Na Rysunku 6 i 7 przedstawiono model pierścienia łożyskowego z zaimplementowanym modelem wady w postaci zawalcowania/zakucia, zlokalizowanego blisko powierzchni. Na Rys. 6 przedstawiono symulację interakcji fali ultradźwiękowej z zaimplementownym modelem wady dla konwencjonalnej głowicy zanurzeniowej oraz uzyskane zobrazowanie typu A. Z kolei na Rys. 7 przedstawiono symulację dla głowicy wieloprzetwornikowej w trybie sektorowym oraz uzyskane zobrazowanie typu S. Stwierdzono, że w przypadku głowicy konwencjonalnej, zorientowanej normalnie w stosunku do powierzchni wnikania fali ultradźwiękowej, na zobrazowaniu typu A, sygnały pochodzące od wady są praktycznie niewidoczne – widoczne jest jedynie silne echo dna, które w praktyce zlewałoby się z sygnałami odbitymi od nieciągłości. Z kolei dla badania w trybie sektorowym, za pomocą głowicy wieloprzetwornikowej sygnał pochodzący od modelu wady jest doskonale widoczny i możliwy do odróżnienia od echa dna.

4. Wnioski

Wdrożenie przedstawionej metodyki badawczej pozwoli Hucie Bankowej na zwiększenie jakości produkowanych wyrobów kuto-walcowanych, potwierdzonej w wiarygodnym oraz innowacyjnym procesie badań i kontroli, realizowanym z wykorzystaniem najnowocześniejszych rozwiązań. Przeprowadzone symulacje numeryczne, których wybrane wyniki zaprezentowano w ramach niniejszej publikacji, wykazały, że dobrana metodyka badawcza pozwoli na skanowanie całej objętości elementu z uwzględnieniem obszarów obecnie niebadanych, a narażonych na występowanie nieciągłości i szczególnie obciążonych podczas eksploatacji gotowych elementów. Wdrożenie umożliwi spełnienie wysokich oczekiwań odbiorców odnośnie do powtarzalności jakości produktów oraz skrócenia czasu realizacji zamówień. Jednocześnie, obniżając ryzyko wystąpienia wad wytwarzania w obręczach kuto-walcowanych, które są kluczowym elementem zestawu kołowego, zapewni bezpieczeństwo transportu kolejowego. Inwestycja w rozwój metodyki badawczej pozwoli również na utrzymanie wysokiej konkurencyjności firmy na arenie międzynarodowej.

Badania i symulacje prowadzone były w ramach pracy: "Symulacja interakcji fali ultradźwiękowej z defektami; określenie rozkładu ciśnienia akustycznego i energii wiązki ultradźwiękowej w badanym detalu; utworzenie modeli wad; rozróżnienie wskazań pochodzących od wad i od kształtu detalu; uzyskanie modeli zobrazowań typu D i/ lub typu S dla modeli próbek z zaimplementowanymi modelami wad", która realizowana była w ramach projektu nr POIR.01.01.01-00-0208/17 pt. "Automatyczna linia kontroli i badania jakości pierścieni i obręczy z inteligentnym systemem identyfikacji i pomiaru wad wewnętrznych metodą PA, pomiaru błędów kształtu przy użyciu głowic pomiarowych 3D oraz badania własności mechanicznych SMART-HARD", współfinansowanego ze środków EFRR na lata 2014-2020.

5. Literatura/References

- P. Calmon, S. Mahaut, S. Chatillon, R. Raillon, "CIVA: "An expertise platform for simulation and processing NDT data", Ultrasonics 44, 2006
- [2] P. Calmon, S. Leberre, T. Sollier, P. Benoist, "CIVA, An integration software platform for the simulation and processing of NDT data", Review of Progress in QNDE, 2006
- [3] G. Neau, D. Hopkins, "The Essential Role of Simulation in Optimizing Probes and Inspection Strategies, Simulation in NDT", www.ndt.net, 2010
- [4] Olympus NDT, "Advances in Phased Array, Ultrasonic Technology Applications", 2007
- [5] https://www.ndt.net/forum/thread.php?msgID=62184, 08.2019

SMX-1000 Plus – System obrazowania rentgenowskiego

SMX-1000 plus jest następcą systemu SMX-1000. Nowa wersja systemu w porównaniu do poprzedniej, oferuje prostszą, bardziej intuicyjną obsługę i nawigację, oraz lepszej jakości obraz

- Detektor i lampa rentgenowska mogą zostać przechylone o kąt do 60°, w celu zobrazowania obiektu z innej płaszczyzny co pozwala na wykonanie dokładnej analizy bez konieczności obracania badanego detalu
- Urządzenie pozwala na badanie obiektów o wymiarach powierzchni 350 mm na 400 mm, a maksymalna waga obiektu może wynosić do 5 kg
- Zakres powiększenia od x8 do x161
- Maksymalna rozdzielczość obrazu 5 μm
- Pole analizowanego obszaru 1,7 mm² do 35 mm²

Wyłączny przedstawiciel Shimadzu, Phenomenex, Biotage w Polsce

Bogdan Zając, Grzegorz Olszewski, Natalia Piotrowska* Laboratorium Badań Materiałowych NCBJ, Otwock

Ocena szerokości szczeliny dylatacyjnej w blokach grafitowych reaktora Maria

Assessment of the expansion provision width in the Maria reactor graphite blocks

ABSTRACT

The paper focuses on the assessment of the width of the expansion provision within the graphite blocks placed in MARIA nuclear reactor of the National Centre for Nuclear Research in Świerk, after their long-lasting operation in the reactor. The nominal width of the expansion provision before placing in the reactor was approximately 30mm. As a result of an interaction between the fast neutrons and the graphite within the reactor, there occurs an incremental swelling of the graphite, causing its porosity and deterioration of its physical properties. This results in narrowing of the expansion provision. Tests aimed at assessing the expansion provision were conducted with the use of radiographic testing. Due to the difficulties arising from applying classical radiographic testing (irraditation of the graphite blocks),digital radiography instruments were employed and the testing was only possible in so called Hot Cells placed above the reactor.

Keywords: graphite block, expansion provision, nuclear reactor

1. Wstęp

Jedyny w Polsce badawczy reaktor jądrowy MARIA znajduje się w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku k. Otwocka. Reaktor zbudowany zgodnie z dokumentacją radzieckiego reaktora MR w Instytucie Kurczatowa w Moskwie uruchomiony został w Polsce w grudniu 1974 roku. Nazwę MARIA nadano mu na cześć Marii Skłodowskiej-Curie [1].

Rys. 1. Przekrój podłużny reaktora MARIA Fig. 1. Longitudinal section of the MARIA reactor

Rdzeń reaktora, kanały paliwowe i inne elementy związane z rdzeniem reaktora są umieszczone w basenie

© 2019 Proceedings of 48th National Conference of Nondestructive Testing (KKBN), Wisła, Poland Published by "Badania Nieniszczące i Diagnostyka" SIMP Publishing Agenda DOI: 10.26357/BNiD.2019.014

STRESZCZENIE

Przedmiotem pracy była ocena szerokości szczeliny dylatacyjnej w blokach grafitowych reaktora MARIA NCBJ po ich długotrwałej eksploatacji w reaktorze. Nominalna szerokość szczeliny dylatacyjnej bloku grafitowego przed eksploatacją w reaktorze wynosiła ok. 30 mm. W czasie długotrwałej pracy reaktora, w wyniku interakcji pomiędzy szybkimi neutronami a grafitem następuje powolne pęcznienie grafitu powodujące porowatość i pogorszenie jego własności fizycznych. Efektem pęcznienia grafitu pod wpływem oddziaływania z neutronami następuje zmniejszenie się szczeliny dylatacyjnej. Badania szerokości szczeliny dylatacyjnej przeprowadzono metodą radiograficzną. Ze względu na trudności z zastosowaniem radiografii klasycznej (bloki grafitowe były napromieniowane) do badań wykorzystano płyty obrazowe i aparaturę do badań radiografią cyfrową. Badania bloków były przeprowadzone w tzw. Komorach Gorących nad reaktorem MARIA.

Słowa kluczowe: blok grafitowy, szczelina dylatacyjna, reaktor jądrowy

pod 7 metrową warstwą wody zapewniającą osłonę przed promieniowaniem oraz umożliwiającą chłodzenie tych elementów rdzenia, które nie posiadają specjalnych obiegów chłodzenia (np. elementy paliwowe). Obok basenu reaktora jest basen technologiczny do okresowego przechowywania wypalonego paliwa. Pełni on również rolę podwodnej drogi transportowej do komór gorących i komory demontażowej. Baseny oddzielone są śluzą. Pionowy przekrój przez basen reaktora MARIA jest przedstawiony na rysunku 1.

Charakterystyczną cechą reaktora MARIA jest stożkowa konstrukcja rdzenia reaktora. Układ stożkowy pozwala na zainstalowanie nad rdzeniem większych elementów reaktora i urządzeń doświadczalnych. W matrycy bloków berylowych o wysokości 110 cm znajdują się kanały paliwowe zawierające zestawy z paliwem jądrowym. Rury z elementem paliwowym umieszczone są w rdzeniu reaktora między blokami berylowymi moderatora. Mają one indywidualne podłączenia układu chłodzącego oraz oddzielne zawory odcinające na wejściu i wyjściu wody chłodzącej, przepływającej pod ciśnieniem. Berylowa matryca rdzenia reaktora jest otoczona reflektorem wykonanym z bloków grafitowych. Między blokami grafitowymi znajdują się szczeliny ok. 1,5 mm, przez które może swobodnie przepływać chłodziwo. Przekrój poziomy rdzenia reaktora MARIA z zaznaczonymi podstawowymi elementami jest przedstawiony na rysunku 2

Bloki grafitowe zamknięte w koszulkach z cienkiej blachy aluminiowej mają kształt ściętych ostrosłupów o podstawie kwadratowej (Rys. 3). Górny wymiar bloku wynosi 140 mm, dolny zaś 120 mm. Wysokość bloków wraz z nakładkami

^{*}Autor korespondencyjny. E-mail: bogdan.zajac@ncbj.gov.pl

wynosi 1585 mm. Ze względu na możliwość pracy bloku w temperaturze przekraczającej 1000 K, grafit został odgazowany w próżni w temperaturze około 1000 K i nasycony azotem [2]. Szczelina dylatacyjna między osłoną, a grafitem też jest wypełniona azotem. Nominalna szerokość szczeliny dylatacyjnej bloku grafitowego przed eksploatacją w reaktorze wynosiła około 30 mm.

Rys. 2. Przekrój poprzeczny rdzenia reaktora MARIA: 1 - bloki grafitowe reflektorów, 2 - bloki berylowe w rdzeniu reaktora, 3 - osłona komór jonizacyjnych, 4 - zestawy paliwowe, H3÷H8 - zakończenia kanałów do wyprowadzania wiązek

Fig. 2. Cross section of the MARIA reactor core: 1 - Graphite block; 2 - Beryllium block; 3 - Ionization chamber shielding; 4 - Fuel elements; H3+H8 - ends of channels for outputting neutron beam

Rys. 3. Blok grafitowy **Fig. 3.** Graphite block

W czasie długotrwałej pracy reaktora, w wyniku interakcji pomiędzy szybkimi neutronami a grafitem, atomy węgla odrywane z sieci krystalicznej zostają przesunięte do jej wnętrza.

W wyniku tego zjawiska struktura krystaliczna grafitu

ulega uszkodzeniu i zwiększa on swoją objętość, absorbując i gromadząc jednocześnie część energii neutronów. Następuje powolne pęcznienie grafitu powodujące porowatość i pogorszenie jego własności fizycznych. [3]

Ze względu na pęcznienie grafitu pod wpływem interakcji z neutronami szczelina dylatacyjna zmniejsza się. Warunkiem bezpiecznej eksploatacji reaktora jest niedopuszczenie do zbytniego zmniejszenia tej szczeliny.

Celem pracy było określenie wielkości szczeliny dylatacyjnej w wybranych przez Zleceniodawcę blokach grafitowych po ich długotrwałej eksploatacji w reaktorze MARIA.

2. Wybór metody badania

Ze względu na zastosowaną nieprzezroczystą osłonę bloku grafitowego wykonaną z cienkiej blachy aluminiowej, do oceny wielkości szczeliny dylatacyjnej zastosować można było jedną z dwóch metod badań objętościowych - metodę ultradźwiękową lub metodę radiograficzną. Ze względu na przewidywane trudności podczas badań ultradźwiękowych takie jak: niejednakowy stopień sprzężenia akustycznego z badanym przedmiotem, długotrwały proces oceny, a przede wszystkim trudności w przeprowadzeniu samych pomiarów za pomocą manipulatorów ze względu na narażenie kontrolera na promieniowanie jonizujące zdecydowano się na badania radiograficzne.

W przypadku prześwietlania bloków grafitowych promieniowaniem X badanie metodą radiograficzną z zastosowaniem klasycznych błon napotyka na podstawowy problem badawczy, bloki grafitowe na skutek przebywania w reaktorze są napromienione. Błony rentgenowskie stykając się z powierzchnią bloków podczas ich prześwietlania narażone są na dodatkowe promieniowanie jonizujące. Promieniowanie to powoduje wstępne zaczernienie błony, co w konsekwencji obniża kontrastowość otrzymanych zdjęć i w znacznym stopniu utrudnia interpretację obrazów.

Dlatego zdecydowano się zastosować radiografię cyfrową pośrednią jako metodę dającą szansę uzyskania bardziej wiarygodnych wyników badań.

W radiografii cyfrowej pośredniej, zdjęcie wykonuje się identycznie jak w radiografii klasycznej. Natomiast kasety, zamiast błony RTG zawierają bardzo czułe płyty obrazowe, zwane płytami fosforowymi, płytami luminoforowymi lub płytami IP, które zapamiętują obrazy. Po ekspozycji naświetlona płyta obrazowa zamiast do wywoływarki korzystającej z odczynników chemicznych, tak jak to było w radiografii klasycznej, wkładana jest do specjalnego czytnika, skanera CR. Czytnik za pomocą technologii laserowej, wykorzystując zjawisko fotostymulowanej luminescencji, skanuje płytę przetwarzając otrzymany sygnał analogowy na wyświetlany na monitorze cyfrowy obraz RTG. Po odczycie i zarejestrowaniu w pamięci komputera lub rejestratora obraz na płycie jest automatycznie czyszczony i płyta obrazowa nadaje się do ponownego użycia.

Metoda radiografii cyfrowej posiada szereg zalet [4]:

 Główną zaletą metody radiografii cyfrowej jest to, że płyty obrazowe mają szeroki zakres dynamiczny. Tolerancja naświetlenia jest nawet do 1000 razy większa niż klasycznej błony rentgenowskiej. Daje to dużą tolerancję na zmienne warunki ekspozycji i większą swobodę wyboru dawki ekspozycyjnej. W konsekwencji umożliwia to znaczne zmniejszenie ilości powtórnych zdjęć.

- Cyfrowy obraz radiograficzny może być następnie kopiowany i powielany bez utraty jakości oraz daje możliwość wysyłania go pocztą elektroniczną i odczytywania na dowolnym komputerze.
- Dzięki programowi komputerowemu dostępne są narzędzia analityczne, zdolność do wzmocnienia i powiększania, możliwość porównywania wielu obrazów i wykonywania różnorodnych funkcji podczas przeglądania obrazów. Np. możliwość dokonywania pomiarów liniowych z dużą dokładnością. Jednocześnie nie następuje pogorszenie jakości obrazu z czasem.
- Bardzo istotną zaletą jest też cyfrowa archiwizacja danych. Szybkie magazynowanie i wywoływanie radiogramu z archiwum, a także tworzenie dodatkowych kopii bezpieczeństwa
- Do uzyskania zdjęć nie jest potrzebna ciemnia ani obróbka chemiczna; system jest przyjazny dla środowiska.
- Uzyskuje się skrócenie czasu ekspozycji od 5 do 20 razy w porównaniu z klasyczną błoną rentgenowską.
- Ograniczenie ilości ekspozycji i związane z tym większe bezpieczeństwo pracy przy jednocześnie minimalnym obszarze kontrolowanym.
- Możliwość wielokrotnego używania płyt obrazowych, nawet do 1000 razy.
- Mniejsza fizyczna przestrzeń potrzebna do magazynowania wyników badań.
- Szeroki zakres dynamiczny umożliwia badanie i ocenę elementów o bardziej skomplikowanych kształtach, o większym zakresie grubości, korzystając tylko z jednej ekspozycji.

3. Przebieg badania

Ze względu na brak w Laboratorium Badań Materiałowych NCBJ wymaganej do przeprowadzenia powyższych badań niezbędnej aparatury wynajęto do tego celu ekipę firmy NDT-NET Sp. z o.o.

Do badań jako źródło promieniowania X zastosowano generator impulsów promieniowania rentgenowskiego XRS-3 firmy Golden Engineering Inc. (Rys. 4). Jest to małe przenośne, zasilane z baterii urządzenie o wymiarach 350 x 115 x 190 mm i wadze około 5,5 kg. Dzięki czemu urządzenie można było bardzo wygodnie obsługiwać w niewielkich przestrzeniach komory demontażowej reaktora MARIA.

Obraz zapisywano na elastycznych płytach obrazowych Flex GP SO 170 firmy Kodak o wymiarach 20 x 25 cm i 25 x 30cm. Odczyt z płyt obrazowych dokonywano na specjalnym skanerze VMI 3600 SF firmy VMI. Ponieważ skanowana za pomocą lasera płyta obrazowa nie miała żadnego kontaktu z ruchomymi elementami systemu, znamionowa fizyczną rozdzielczość wynosiła 50 µm, a 16 bitowy przetwornik skanera VMI, rozróżniał aż 65 000 odcieni szarości.

Do oceny szerokości szczeliny dylatacyjnej Zleceniodawca wytypował 20 sztuk bloków grafitowych po długotrwałej eksploatacji w reaktorze. Każdy z bloków grafitowych personel Zakładu Eksploatacji Reaktora MARIA transportował ze zbiornika przechowawczego (technologicznego) reaktora do komory demontażowej, gdzie ustawione było stanowisko badawcze (Rys. 5).

Rys. 4. Generator impulsów promieniowania rentgenowskiego XRS-3

Fig. 4. XRS-3 X-ray pulse generator

Stanowisko badawcze składało się ze źródła promieniowania XRS-3 ustawionego na podeście w pobliżu tunelu transportowego oraz osłony w kształcie litery U zbudowanej z 2. warstw cegieł ołowianych, za którą chowane były płyty obrazowe.

Rys. 5. Personel Zakładu Eksploatacji Reaktora MARIA transportuje blok grafitowy do komory demontażowej **Fig. 5.** The personnel of the MARIA Reactor Operating Plant transports the graphite block to the dismantling chamber

Na czas ekspozycji wysuwano poszczególne bloki z tunelu transportowego komory demontażowej w taki sposób, aby spodziewana szczelina dylatacyjna znalazła się na wysokości źródła promieniowania XRS-3. Następnie manipulatorem wyjmowano zza ołowianej osłony mniejszą płytę obrazową i przytykano do tylnej, względem źródła promieniowania, powierzchni bloku grafitowego. Prześwietlano blok promieniowaniem rentgenowskim o energii 3. paczek po 99 impulsów każda. Po ekspozycji chowano płytę za osłonę ołowianą. Następnie powtarzano proces dla drugiej, większej płyty obrazowej i po ekspozycji również chowano ją za osłonę ołowianą. Po badaniach blok grafitowy przenoszono do basenu zbiornika przechowawczego reaktora. Dopiero wówczas wyjmowano obie płyty obrazowe zza osłony ołowianej. Zapis z płyt obrazowych odczytywano na skanerze CR VMI 3600 SF i rejestrowano w jego pamięci. Po zarejestrowaniu obrazu zapisy na płytach obrazowych usuwano i płyty gotowe do kolejnych naświetleń przenoszono do komory demontażowej reaktora za osłonę ołowianą.

Przeprowadzono w ten sposób badania wszystkich 20. bloków grafitowych.

4. Wyniki badania

Pomiary wielkości szczeliny dylatacyjnej w blokach grafitowych dokonywano na zdjęciach radiograficznych metodą porównawczą.

Początkowo do skalowania układu pomiarowego skanera planowano wykorzystać kulki stalowe o średnicy 18mm (przyklejone do płyt obrazowych 20 x 25 cm i 25 x 30 cm) lub krążek (moneta) o średnicy 22 mm (przyklejony do płyty obrazowej 25 x 30 cm). (Rys. 6).

Rys. 6. Radiogram bloku grafitowego z oznaczoną szczeliną dylatacyjną

Fig. 6. Radiograph of a graphite block with a marked expansion provision width

Po wstępnych próbach, zdecydowano się jednak jako wymiar odniesienia wykorzystać tuleję uchwytu bloku grafitowego o średnicy 40 mm, znajdującą się w górnej jego części. Tuleja zawsze znajdowała się na środku elementu badanego oraz ze względu na swój okrągły kształt dawała jednakowy obraz bez względu na kierunek promieniowania względem płyty obrazowej. Większy wymiar tulei (40 mm) od kulek stalowych (18 mm) lub monety (22 mm) oraz niezależność obrazu od kierunku promieniowania pozwalał na większą dokładność otrzymywanych wyników pomiarów szczeliny dylatacyjnej w bloku grafitowym.

Na zarejestrowanych zdjęciach za pomocą oprogramowania STARRView v. 7.8.1.7 dokonano pomiaru szczeliny dylatacyjnej w poszczególnych blokach grafitowych.

Minimalne wymiary szczeliny dylatacyjnej oszacowane na poszczególnych zdjęciach bloków po ich długotrwałej eksploatacji wynosiły od 15 mm do 28 mm.

5. Podsumowanie

Uzyskanie czytelnych radiogramów i dobrej widoczności szczeliny dylatacyjnej pomimo istniejącego dodatkowego promieniowania jonizującego pochodzącego od badanych bloków grafitowych potwierdziło prawidłowo dobraną technikę badawczą.

Zastosowanie radiografii cyfrowej z wykorzystaniem metod obróbki obrazu pozwoliło szybko i dokładnie oszacować szerokość szczeliny dylatacyjnej w blokach grafitowych. Pozwoliło również na wykonanych radiogramach dokonać opisu warunków badania.

Oszacowana szerokość minimalnej szczeliny dylatacyjnej wynosiła dla poszczególnych bloków grafitowych od 15mm do 28mm. Wiedza o szerokości szczeliny dylatacyjnej danego bloku grafitowego pozwoli na określenie dopuszczalnego czasu jego eksploatacji oraz na dobór miejsca przyszłego ulokowania bloku. Bloki z małą szczeliną można przesunąć w inne mniej narażone na promieniowanie miejsce.

6. Literatura/References

- Katarzyna Bzymek, Barbara Trzeciak, Tomasz Cetner, Jan Gładysz Reaktor MARIA – Budowa i zastosowanie, NCBJ
- [2] Tadeusz Hilczer; "Energetyka jądrowa- Reaktory jądrowe", wykład monograficzny, NCBJ
- [3] M J Crick, G.S. Linsley, An Assessment of the Radiological Impact of the Windscale Reactor Fire, Oct., 1957, Nov., 1982 N National Radiological Protection Board (NRPB) Report.
- [4] Bartłomiej Jóźwiak, Tadeusz Morawski, "Aktualne możliwości zastosowania przemysłowej radiografii komputerowej", Badania-Nieniszczące-Nr-03-12-2006

Badania Nieniszczące i Diagnostyka Nondestructive Testing and Diagnostics

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 jednoszpałtowego wynosi 8,5 cm, natomiast dwuszpałtowego 17,5 cm.

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

Jednostki - układ SI.

Artykuł powinien zwierać:

- 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 z wypełnionym drukiem "Zgłoszenie publikacji" dostępnym na naszej stronie www: www.bnid.pl.

OGŁOSZENIA I ARTYKUŁY PROMOCYJNE

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

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

PRENUMERATA

Aktualne wydania dostępne w prenumeracie: 1-2/2019 oraz archiwalne: 1-2/2016; 1-2/2017; 3/2017; 4/2017; 1/2018; 2/2018; 3/2018 i 4/2018.

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

sieć badawcza łukasiewicz - INSTYTUT SPAWALNICTWA

NAUKA DLA PRZEMYSŁU

W trakcie kursu zdobędziesz umiejętności z techniki Phased Array w zakresie:

- projektowania badań i tworzenia planów skanowania,
- tworzenia konfiguracji i kalibrowania grup z użyciem głowic prostych i kątowych, generowania skanu liniowego, sektorowego i compound,
- wykonywania badań doczołowych i teowych złączy spawanych o różnych grubościach, odkuwek i odlewów,
- oceny wyników badań złączy spawanych na podstawie kryteriów wymiarowych oraz amplitudowych zgodnie z PN-EN ISO 19285.

Kurs obejmuje ponadto zagadnienia badań eksploatacyjnych (wykrywanie pęknięć, mapowanie korozji), badań z wykorzystaniem systemów wielogłowicowych oraz badań symultanicznych PA+TOFD.

W trakcie kursu zapoznasz się z oprogramowaniem komputerowym do projektowania i oceny wyników badań: NDT Setup Builder, Beam Tool, OmniPC.

W NASZEJ OFERCIE RÓWNIEŻ: BADANIA, EKSPERTYZY, DORADZTWO TECHNICZNE.

PRAKTYKIEM W 10 DNI WYKŁADY P O K A Z Y

ĆWICZENIA

ΖΟSΤΑŃ

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

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

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

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

