

WYBÓR KOŃCÓWKI MŁOTKA MODALNEGO I MIEJSCA UDERZENIA W BADANIACH METODĄ DRGANIOWĄ PŁYT SPAWANYCH

W artykule przedstawiono znaczenie badań nieniszczących w technice. Omówiono stanowisko do badania płyt z połączeniami spawanymi przy zastosowaniu metody drganiowej. Na podstawie analizy charakterystyk widmowych, które obliczono dla odpowiedzi z akcelerometrów, porównano końcówki, które były nakładane na młotek modalny podczas badań na stanowisku. Dokonano również weryfikacji możliwych miejsc uderzenia w płytę spawaną. Potwierdzenie wyboru typu końcówki młotka modalnego i miejsca uderzenia w badaniach metodą drganiową przeprowadzono na płycie z materiału jednorodnego i płycie z dobrym jakościowo połączeniem spawanym, które wcześniej sprawdzono w badaniach radiograficznych.

Słowa kluczowe: diagnostyka, połączenia spawane, badania nieniszczące, drgania.

WSTĘP

Badania nieniszczące (ang. *non-destructive testing* – NDT) mają na celu uzyskanie informacji o stanie, właściwościach i ewentualnych wadach w złączach spawanych, połączeniach klejonych, zgrzewanych, lutowanych, odlewach, elementach wykonanych z materiałów kompozytowych [4, 7]. Badania nieniszczące wykorzystywane są w procedurach oceny niezawodności i jakości produktów będących w trakcie procesu technologicznego, gotowych oraz eksploatowanych. Badania NDT stosuje się do osiągnięcia odpowiednio wysokiego poziomu jakości i bezpieczeństwa. Powodem korzystania z badań nieniszczących jest określenie rodzaju, wielkości i miejsca występowania deformacji, pęknięć, odkształceń czy innych usterek, w celu stwierdzenia ich dopuszczenia lub konieczności usunięcia z badanego elementu. Istotną cechą badań NDT stanowi możliwość określenia właściwości oraz uzyskanie opisu fizycznego badanego materiału [6].

Czynności kontrolne zapewniające jakość złączy spawanych znajdują miejsce nie tylko w trakcie procesu produkcji, ale także w celu diagnozowania eksploatowanej konstrukcji. Brak wykonywania eksploatacyjnych badań nieniszczących obiektów technicznych (np. samolotów, statków, urządzeń dźwigowych, mostów itp.) bądź przeprowadzanie ich niezgodnie z procedurami badań może prowadzić do katastrof i awarii [1, 3].

Na szybki rozwój i powszechne stosowanie badań NDT w technice ma wpływ dużo czynników. Najważniejsze z nich to bezpieczeństwo i ekonomia. Kwestie związane z bezpieczeństwem zdecydowały o rutynowym wykorzystywaniu badań nieniszczących w lotnictwie, astronautyce, przemyśle wydobywczym, energetyce jądrowej, przemyśle okrętowym. Rachunek ekonomiczny w pełni uzasadnia konieczność stosowania badań NDT w produkcji masowej i wielkoseryjnej. W dynamicznym rozwoju badań nieniszczących dominuje tendencja do jak najszybszego uzyskania informacji o stanie badanego elementu. Pociąga to za sobą sposobność do dokładniejszego wykrywania deformacji, pęknięć, odkształceń czy innych usterek, a także pozyskiwania większej ilości informacji o nich. Dąży się także do zwiększenia szybkości wykonywania badań oraz zwiększenia bezpieczeństwa i ograniczenia szkodliwego oddziaływania środków używanych do badań na zdrowie operatorów. Rozwój dotyczy zarówno dotychczas używanych metod i ich zastosowań, jak i nowo wprowadzanych.

Współcześnie istnieje szeroki wachlarz metod, które wraz z rozwojem techniki są uzupełniane o nowo powstające metody. Obecnie powszechnie stosuje się badania hybrydowe, które polegają na korzystaniu z metod mieszanych, łączących dwie lub więcej metod NDT. Umożliwia to poszerzenie zastosowań i zwiększenie dokładności otrzymanych wyników. Metody hybrydowe dzieli się na dwie grupy: wykorzystujące to samo zjawisko fizyczne oraz działające na zasadzie dopełnienia się poszczególnych metod badań [2]. Przykładem metody hybrydowej zaliczanej do pierwszej grupy jest połączenie emisji akustycznej z badaniami ultradźwiękowymi. Podczas analizy analogicznych zjawisk fizycznych (generowanie się fal mechanicznych) i sprzętu (piezoelektrycznych czujników i generatorów drgań, kart pomiarowych) istnieje możliwość nieprzerwanej diagnostyki eksploatacyjnej badanego elementu związanej z wykrywaniem nowopowstających uszkodzeń (za pomocą emisji akustycznej), jak również rozwoju już zdiagnozowanych (za pomocą badań ultradźwiękowych) [8]. Przykład metody hybrydowej działającej na zasadzie dopełniania się poszczególnych metod badań stanowią badania termograficzne. Badania termograficzne można stosować jako kombinacje hybrydowych metod badań wykorzystujących zjawiska fizyczne drgań ultradźwiękowych, prądów wirowych lub promieniowanie (cieplne, świetlne, mikrofałe) [5]. Powszechnie wykonywanymi badaniami hybrydowymi uzupełniającymi się są badania powierzchniowe połączone z badaniami radiograficznymi i/lub ultradźwiękowymi.

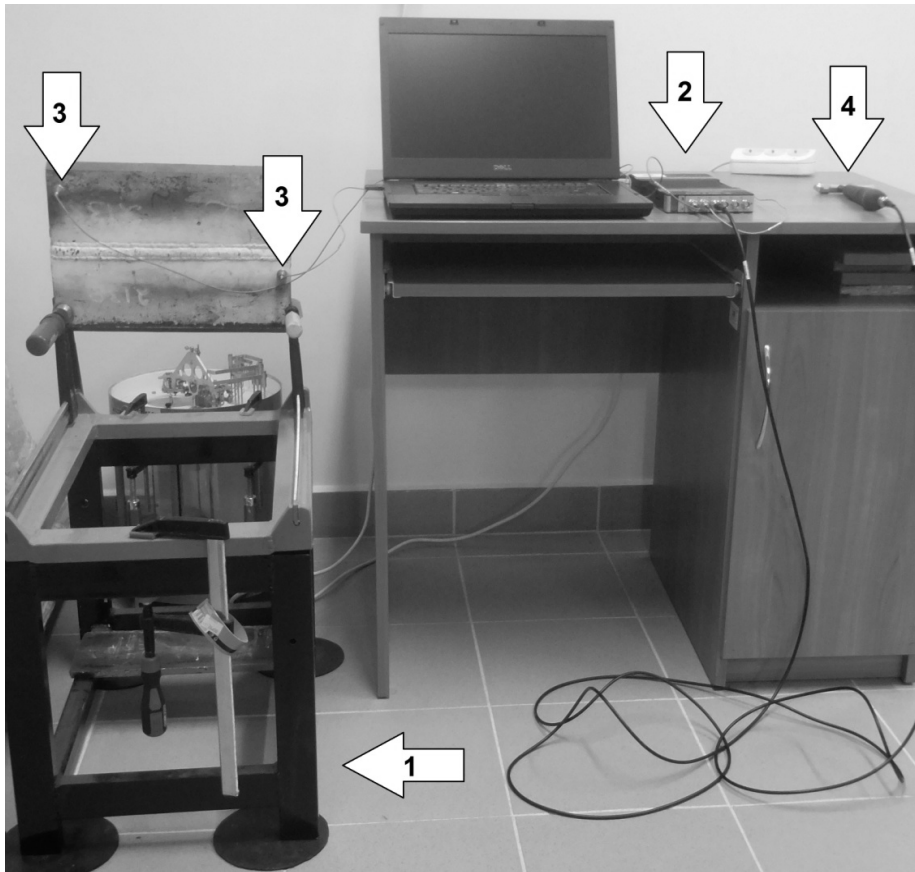
Ogólnie stosuje się sześć podstawowych metod badań NDT: wizualne (VT), penetracyjne (PT), magnetyczno-proszkowe (MT), radiograficzne (RT), ultradźwiękowe (UT) i prądów wirowych (PT) [9]. Każda z nich cechuje się pewnymi ograniczeniami, które omówiono w artykule [10]. Nowoczesne metody badań NDT, np. emisja akustyczna, termografia, wibrotermografia oraz połączenia tych metod z konwencjonalnymi wykorzystuje się podczas diagnostyki obiektów o szczególnym przeznaczeniu.

Autorzy w artykule odnieśli się do wykonywanych przez nich badań wstępnych. W ramach badań przeprowadzili rejestrację odpowiedzi z akcelerometrów rozmieszczonych na badanych płytach spawanych. Następnie dla zarejestrowanych odpowiedzi obliczyli widma amplitudowe metodą FFT (ang. *fast fourier transform*). Ze studium literatury przedmiotu wynika, że w metodzie drganiowej najwięcej informacji o badanym obiekcie można pozyskać przez analizę widm amplitudowych. Na podstawie wyliczonych widm autorzy dokonali weryfikacji końcówek młotka modalnego i miejsca uderzenia w płytę spawaną. Czynności te są decydujące w planowaniu badań metodą drganiową dla płyt spawanych. Przeprowadzone badania można więc uznać za wstęp do dalszych prac, których efektem ma być opracowanie metod oceny poprawności połączeń spawanych, a w dalszej kolejności identyfikacja usterek w spawanych spoinach.

1. OPIS STANOWISKA I METODOLOGII BADAWCZEJ

W Katedrze Podstaw Techniki na Wydziale Mechanicznym Akademii Morskiej w Gdyni zbudowano stanowisko do przeprowadzania badań połączeń spawanych przy zastosowaniu metody drganiowej. Układ stanowiska i jego najważniejsze elementy przedstawiono na rysunku 1. W skład stanowiska wchodzi: stojak, w którym mogą być montowane płyty (próbki spawalnicze) w sposób poziomy – mocowanie czteropunktowe lub pionowy – mocowanie dwupunktowe, analizator drgań, dwa akcelerometry, młotek modalny z trzema wymiennymi końcówkami, tj. metalową, silikonową i teflonową.

Podczas realizacji badań wstępnych płyty były montowane w stojaku, w położeniu pionowym, jak przedstawiono to na rysunku 2. Badania przeprowadzono na czterech płytach, ale na potrzeby wyboru miejsca uderzenia i końcówki młotka modalnego wykorzystano wyniki pomiarów uzyskane dla płyty wykonanej z materiału jednorodnego i płyty pospawanej bez usterek. Jedna z nich oznaczona numerem „0” była płytą z materiału jednorodnego, nieposiadająca połączenia spawanego. Trzy kolejne były płytami spawanymi i oznaczono je następująco numerami: 2202 – płyta nieposiadająca żadnych usterek, 2127 – płyta z usterką typu przyklejenie brzegowe i 2132 – płyta ze sztucznie zasymulowanym pęknięciem na całej długości próbki. Wszystkie próbki posiadające połączenia spawane przed użyciem ich do badań przebadano metodą radiograficzną. Pozwoliło to na ocenę jakości połączenia oraz umożliwiło identyfikację i umiejscowienie typu uszkodzenia w płytach.

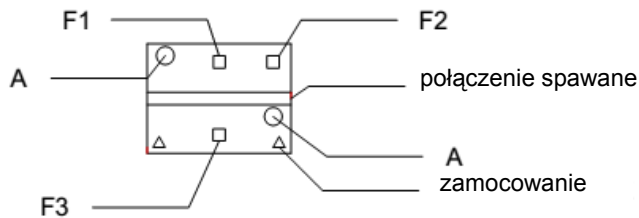


Rys. 1. Stanowisko do badań połączeń spawanych z wykorzystaniem metod drganiowych.

W skład stanowiska wchodzi: 1 – stojak, w którym mogą być montowane płyty (próbki spawalnicze) – w sposób poziomy – mocowanie czteropunktowe lub pionowy – mocowanie dwupunktowe, 2 – analizator drgań firmy Bruel & Kjaer typu 3050-A-60, 3 – dwa akcelerometry 4514-B, 4 – młotek modalny (8206-002) z trzema wymiennymi końcówkami, tj. metalową, silikonową i teflonową

Fig. 1. The stand to test welded joints using the vibration methods. The stand includes: 1 – holder which can be used to install the plates (welded test pieces) horizontally – IV-point mounting or vertically – II-point mounting, 2 – vibration analyzer 3050-A-60 produced by Bruel & Kjaer, 3 – two accelerometers 4514-B, 4 – modal impact hammer (8206-002) with three interchangeable heads i.e. metal, silicon, and teflon

Wykonane badania wstępne polegały na rejestracji amplitudy drgań w czasie za pomocą akcelerometru, oznaczonego ACC1. Drgania wywołane były przez uderzenie młotkiem modalnym z różnymi końcówkami: metalową, silikonową i teflonową. Miejsca uderzeń przedstawiono na rysunku 2 za pomocą oznaczeń F1, F2 i F3.



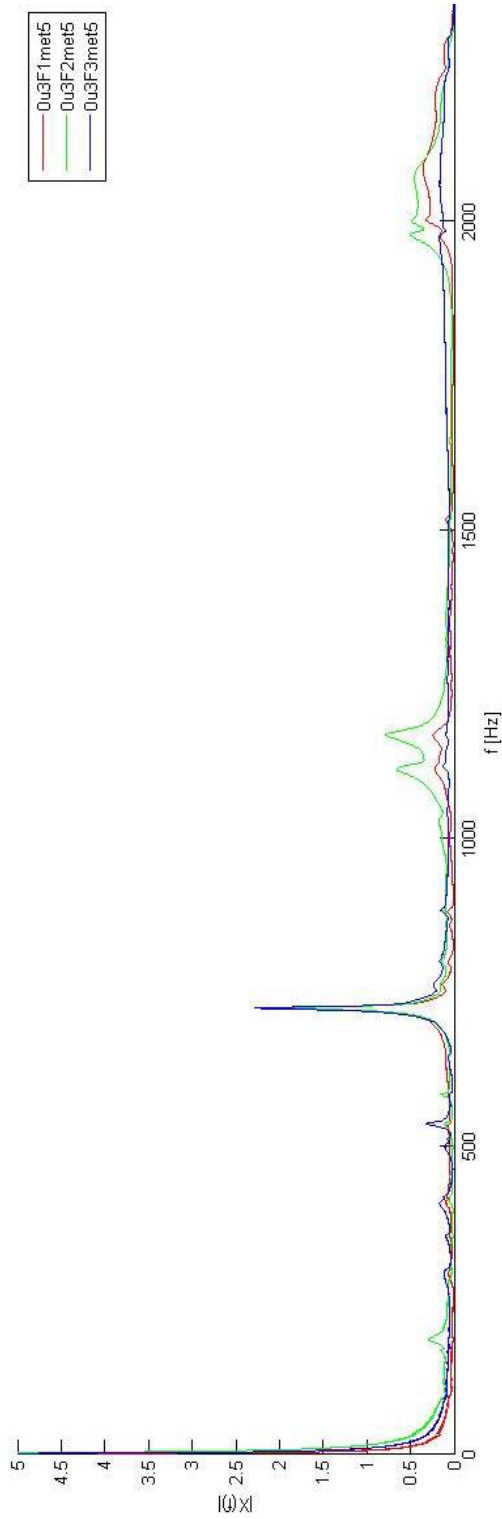
Rys. 2. Schematyczny rysunek przedstawiający rozmieszczenie akcelometrów (A), miejsc uderzeń (F1, F2, F3) oraz miejsc zamocowania płyty w uchwytach stojaka (Δ)

Fig. 2. Schematic diagram showing the arrangement of accelerometers (A), impact spots (F1, F2, F3) and places to mount the plate in the holder (Δ)

2. OPIS BADAŃ

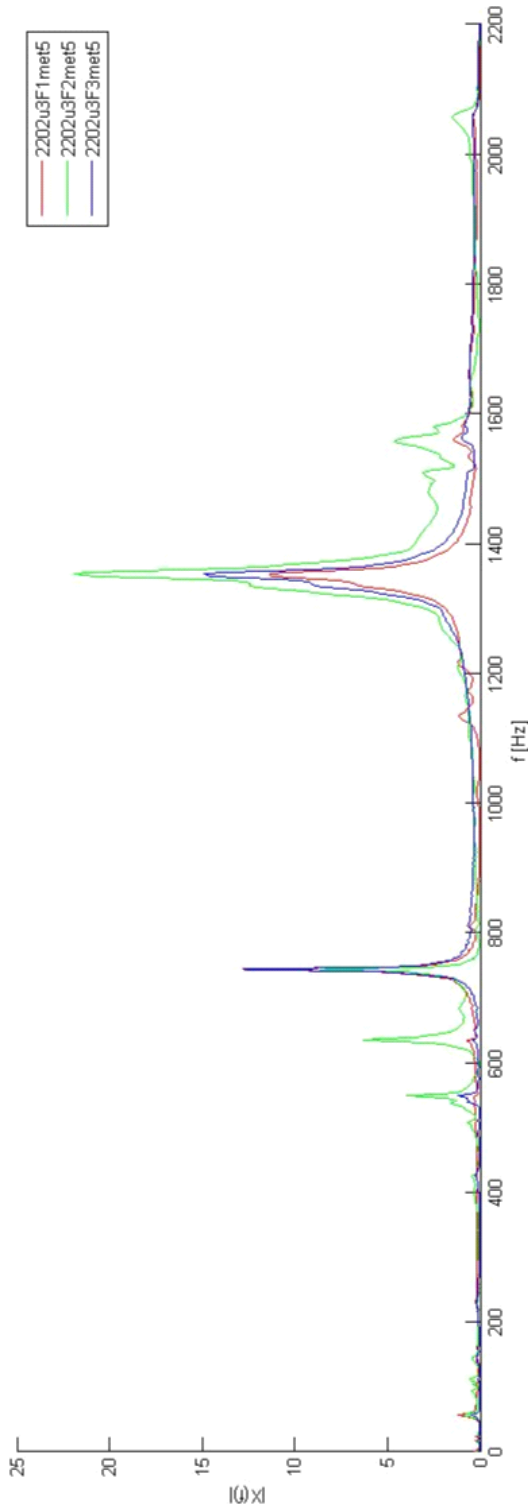
Zarejestrowane podczas przeprowadzania pomiarów dane zostały następnie przeanalizowane w środowisku MATLAB. Na rysunkach 3–8 zamieszczono wykresy przedstawiające widma amplitudowe, które obliczono dla odpowiedzi powstałych po uderzeniu młotkiem modalnych w płytę w punktach: F1, F2 i F3. Odpowiedzi po uderzeniu młotkiem modalnym zarejestrowano w akcelerometrze ACC1. Badania powtórzono dla trzech różnych końcówek młotka (silikonowej, metalowej i teflonowej) oraz dwóch płyt. Pierwsza płyta wykonana była z materiału jednorodnego, a druga z materiału ze spawem bez wad.

Do oceny miejsca uderzenia i typu końcówek nakładanych na młotek modalny zdefiniowano kryterium, które polegało na ocenie podobieństwa i rozkładu harmonicznym w obliczonych widmach amplitudowych. Jak podaje literatura [1, 2, 8], dla płyty wykonanej z materiału jednorodnego lub płyty ze spoiną bez wad, niezależnie od punktów uderzenia, widma FFT powinny charakteryzować się zbliżonym trendem. Główna różnica między widmami dla danej końcówki w rozważanych punktach powinna dotyczyć wartości amplitud widma. Podstawowa wartość harmonicznym w widmie zależy od miejsca uderzenia, użytej siły oraz tłumienia związanego z płytą. Decydując o miejscu uderzenia młotkiem modalnym, autorzy zdecydowali, że wybiorą ten punkt, w którym widmo amplitudowe jest najbardziej podobne przy różnych typach końcówek i zawiera maksima lokalne, które powinny nieść istotną informację diagnostyczną.



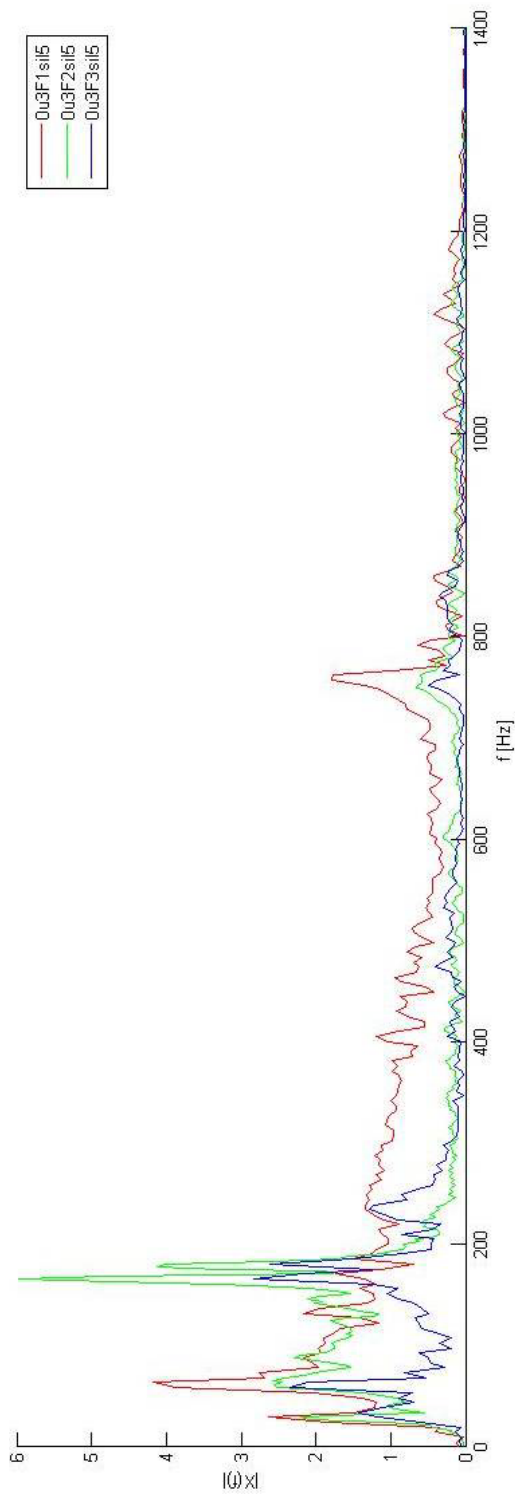
Rys. 3. FFT (ACC1) dla uderzeń młotkiem modalnym z końcówką metalową w punktach: F1, F2, F3 dla płyty z materiału jednorodnego

Fig. 3. FFT (ACC1) for strokes made with metal head in impact spots: F1, F2, F3 for the *homogenous material plate*

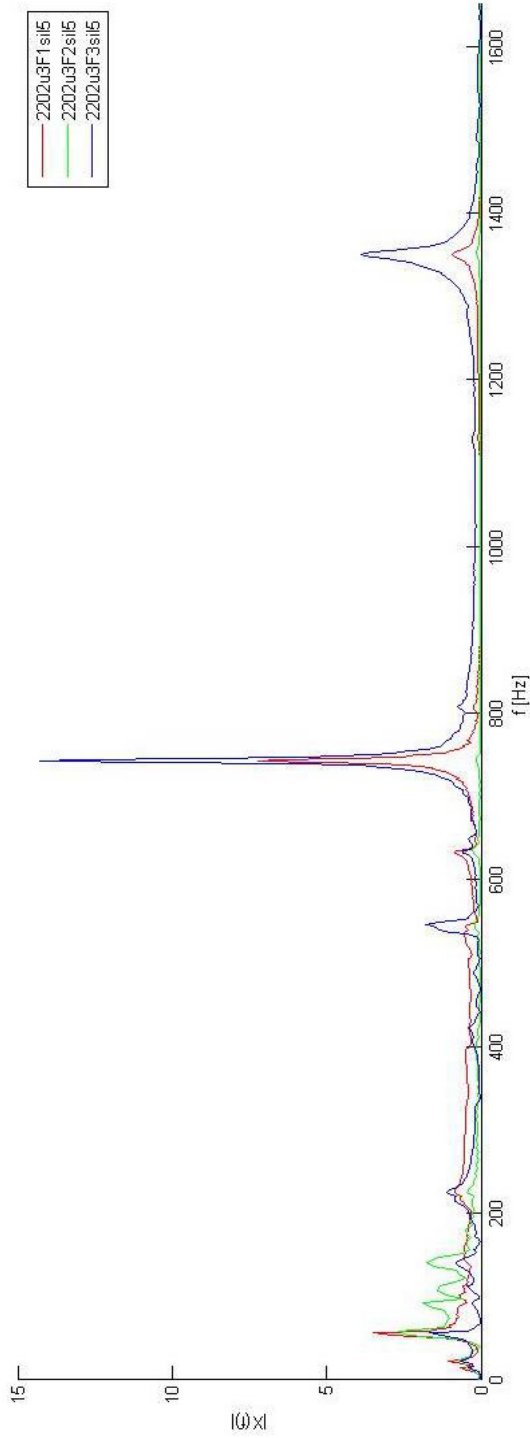


Rys. 4. FFT (ACC1) dla uderzeń młotkiem modalnym z końcówką metalową w punktach: F1, F2, F3 dla płyty spawanej bez wad w spoinie

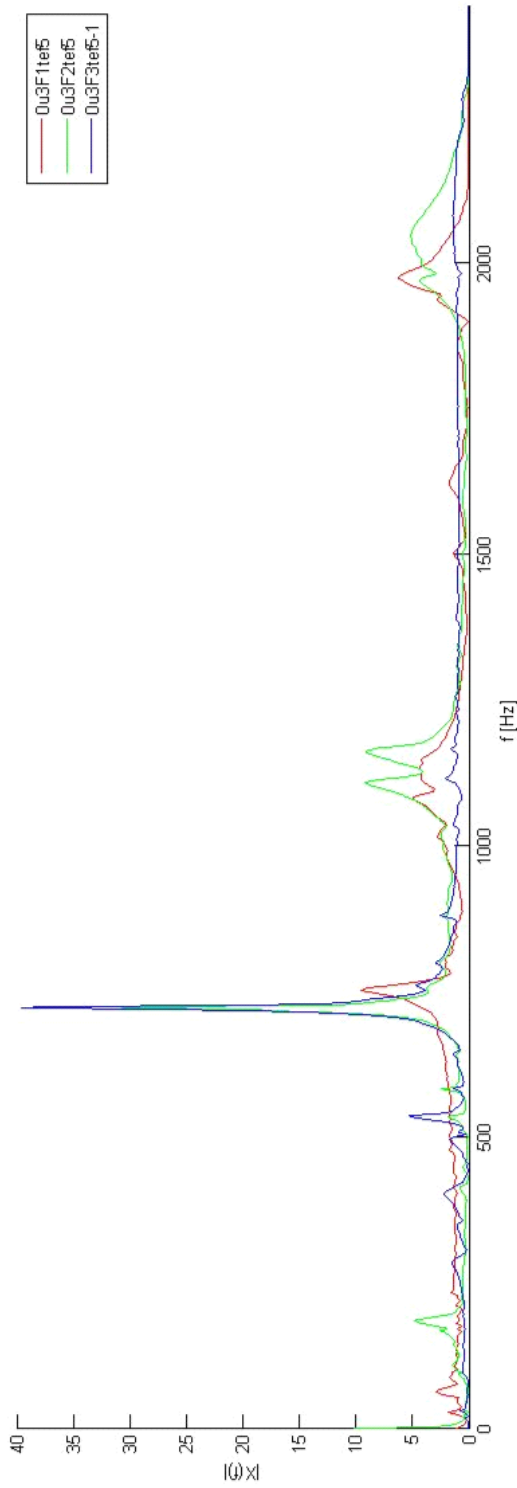
Fig. 4. FFT (ACC1) for strokes made with metal head of impact hammer in spots: F1, F2, F3 for the plate without any faults in weld seam



Rys. 5. FFT (ACC1) dla uderzeń młotkiem modalnym z końcówką silikonową w punktach: F1, F2, F3 dla płyty z materiału jednorodnego
Fig. 5. FFT (ACC1) for strokes made with silicon head in spots: F1, F2, F3 for the homogeneous material plate

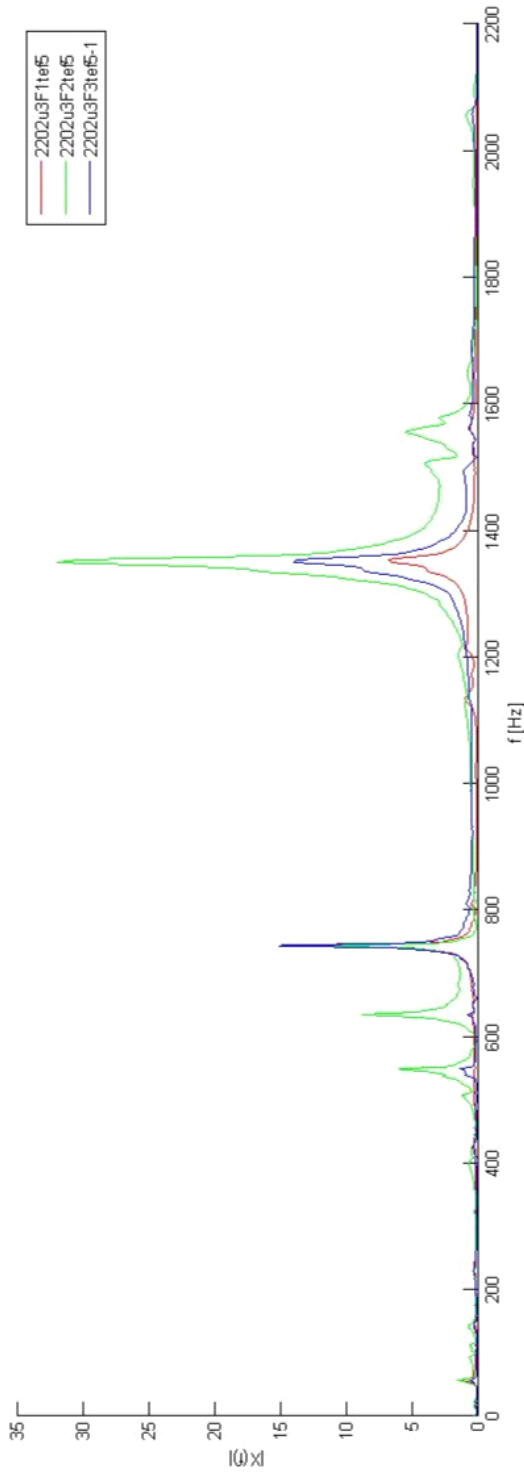


Rys. 6. FFT (ACC1) dla uderzeń młotkiem modalnym z końcówką silikonową w punktach: F1, F2, F3 dla płyty spawanej bez wad w spoinie
Fig. 6. FFT (ACC1) for strokes made with silicon head of impact hammer in spots: F1, F2, F3 for the plate without any faults in weld seam



Rys. 7. FFT (ACC1) dla uderzeń młotkiem modalnym z końcówką teflonową w punktach: F1, F2, F3 dla płyty z materiału jednorodnego

Fig. 7. FFT (ACC1) for strokes made with Teflon head in spots: F1, F2, F3 for the *homogenous material plate*



Rys. 8. FFT (ACC1) dla uderzeń młotkiem modalnym z końcówką teflonową w punktach: F1, F2, F3 dla płyty spawanej bez wad w spoinie

Fig. 8. FFT (ACC1) for strokes made with Teflon head of impact hammer in spots: F1, F2, F3 for the plate without any faults in weld seam

PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań wstępnych wynika, że zastosowanie badań nieniszczących do połączeń spawanych metodą drganiową pozwoli oceniać ich jakość oraz identyfikować rodzaje usterek, które mogą być ich udziałem. Autorzy dalsze badania szczegółowe planują przeprowadzić za pomocą końcówki metalowej i teflonowej w punkcie uderzenia F2.

Na podstawie widm amplitudowych przedstawionych na rysunkach 3–8 autorzy zauważyli, że jedynie widma otrzymane dla końcówki metalowej i teflonowej charakteryzowały się podobnym trendem rozkładu harmonicznych. Widma otrzymane dla końcówki silikonowej niosły natomiast zdecydowanie inną informację diagnostyczną. W szczególności przy małych częstotliwościach końcówka silikonowa nadmiernie się wzbudzała.

Porównując wykresy przedstawiające wyniki badań dla płyty z materiału jednorodnego (0), można zauważyć, że w tych samych punktach, w których słabe wzmocnienie generowała końcówka metalowa, końcówka teflonowa miała wzmocnienie znacznie większe. Widmo otrzymane dla końcówki metalowej w płycie z materiału jednorodnego jest równomierne i pozbawione szumów.

Poddając analizie wykresy płyty spawanej ze spawem bez wady (2202) można zauważyć, że wyniki otrzymane dla końcówki metalowej i teflonowej są podobne. W przypadku płyty ze spawem bez wady wyniki otrzymane dla końcówki silikonowej pokrywają się z wynikami uzyskanymi dla końcówki metalowej i teflonowej.

Na podstawie otrzymanych widm amplitudowych, a w szczególności z powodu dużej rozbieżności między widmami otrzymanymi dla końcówki silikonowej, autorzy zdecydowali, że w dalszych badaniach nie będą jej stosować.

Cechą wyróżniającą proponowaną metodę badań nieniszczących od innych metod jest możliwość jej wykorzystania do wszystkich materiałów i ich połączeń (np. metale, ceramika, kompozyty).

LITERATURA

1. Arczewski K., Pietrucha J., Szuster J., *Drgania układów fizycznych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008.
2. Awrejcewicz J., Krysko W., *Drgania układów ciągłych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
3. Bień J., *Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych*, WKŁ, Warszawa 2010.
4. Biernacki B., Jawor R., Kozak T. *et al.*, *Badania metodami nieniszczącymi*, Laboratorium Badań Nieniszczących KOLI, Gdańsk 1991.
5. Czurchryj J., Papkala H., Winiowski A., *Niezgodności w złączach spajanych*, Instytut Spawalnictwa, Gliwice 2005.

6. Dudzik S., *Wyznaczenie głębokości defektów materiałowych z zastosowaniem aktywnej termografii dynamicznej i sztucznych sieci neuronowych*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2013.
7. Lewicka-Romicka A., *Badania nieniszczące. Podstawy defektoskopii*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001.
8. Malecki I., Ranachowski J., *Emisja akustyczna źródła, metody, zastosowania*, Biuro Pascal, Warszawa 1994.
9. Mizerski J., *Spawanie. Wiadomości podstawowe*, REA, Warszawa 2005.
10. Szeleziński A., Gesella G., Murawski L., *Przegląd metod diagnostyki i monitoringu połączeń spawanych w konstrukcjach transportu morskiego*, Logistyka, 2015, nr 3.

SELECTION OF IMPACT HAMMER HEAD AND IMPACT SPOT IN TESTS ON WELDED PLATES USING THE VIBRATION METHOD

Summary

The article presents the significance of the non-destructive tests in technology. The discussed case involved the stand intended for the tests on plates with welded joints using the vibration method. On the basis of the analysis of spectral characteristics which were calculated for responses from the accelerometers, the endings applied on hammer during tests were compared. The possible impact spots on welded plate were also verified. To prove the selected ending of the impact hammer and the impact spot right, the vibration method was used and the tests were performed on the plate made of homogenous material and on the plate with good-quality welded joint, both of which were checked earlier during the radiographic testing.

Keywords: *diagnosis, welded joints, non-destructive testing, vibrations.*