

Zastosowanie mikroskopii akustycznej do oceny niezgodności połączeń zgrzewanych punktowo

Application of acoustic microscopy for evaluation of defects in spot welded joints

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania mikroskopii akustycznej do oceny niezgodności połączeń zgrzewanych. W ramach prac badawczych wykonano połączenia zgrzewane dwóch gatunków blach aluminiowych EN AW5754 H24 oraz EN AW6005 T606, które następnie zostały poddane badaniom nieniszczącym z wykorzystaniem mikroskopii akustycznej oraz konwencjonalnym badaniom niszczącym z wykorzystaniem tradycyjnych technik przy użyciu mikroskopii świetlnej.

Słowa kluczowe: zgrzewanie oporowe, mikroskopia akustyczna, aluminium

Abstract

The article presents the possibilities of using of acoustic microscopy to evaluate of defects of spot welded joints. For this purpose, the spot welded joints were made from two grades of alumina plates EN AW5754 H24 and EN AW6005 T606, which were then subjected to non-destructive testing using acoustic microscopy and conventional destructive macroscopy. Additionally, it was examined the influence of the typical contaminants found in industrial conditions for the quality of the joint.

Keywords: resistance welding, acoustic microscopy, aluminium

Wstęp

Jak podają dane statystyczne, w Polsce wykonuje się około 2 miliardów zgrzein punktowych rocznie [1]. Spowodowało to gwałtowne zapotrzebowanie na nieniszczące techniki pozwalające badać właściwości mechaniczne materiałów, skład, strukturę materiałów oraz nieciągłości wewnętrzne.

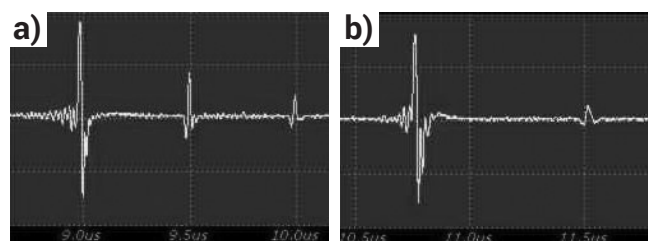
Jedną z metod umożliwiającą badanie struktury wewnętrznej zgrzein punktowych z dużą rozdzielczością przestrzenną po procesie zgrzewania jest skaningowa mikroskopia akustyczna (SAM – *Scanning Acoustic Microscopy*). Metoda ta polega na zastosowaniu przetwornika ultradźwiękowego wysokiej częstotliwości, przy równoczesnym zastosowaniu układu soczewek akustycznych skupiających wiązkę ultradźwiękową, co powoduje koncentrację wiązki ultradźwiękowej w wybranym punkcie. Przyjmuje się, że rozdzielczość mikroskopu akustycznego, wynosi połowę długości fali zastosowanego przetwornika ultradźwiękowego. Typowe zakresy częstotliwości pracy przetworników wynoszą 5-200 MHz [2]. Do badań zgrzein punktowych najczęściej stosuje się głowice o częstotliwości pracy 50 MHz. Mikroskop akustyczny może pracować w dwojaki sposób: metodą echa lub metodą przepuszczania (transmisyjną). Do badań zgrzein punktowych najczęściej stosuje się metodę echa, dlatego też metoda ta zostanie szczegółowo omówiona.

Jeżeli mikroskop akustyczny wykorzystuje metodę immersyjną (zanurzeniową), konieczne jest zastosowanie cieczy (najczęściej wody) jako ośrodka sprzęgającego. Warunkiem uzyskania poprawnego sprzężenia jest wyeliminowanie pęcherzyków powietrza z cieczy sprzęgającej, które mogą rozpraszać wiązkę ultradźwiękową.

Za pomocą skaningowej mikroskopii akustycznej możliwe jest uzyskanie następujących informacji o zgrzeinie punktowej:

- parametry technologiczne złącza: określenie średnicy i kształtu jądra zgrzeiny, głębokość wgniotu elektrod,
- detekcja nieciągłości wewnętrznych i zewnętrznych: pęknięcia, jamy skurczowe, brak zgrzania i ekspulsje.

Podczas ruchu przetwornika z głowicą skupiającą nad powierzchnią próbki, rejestrowane są sygnały w postaci A-scan fali ultradźwiękowej, w określonych odstępach (np. co 50 μm). Decyduje to o rozdzielczości uzyskanego obrazu typu B i C. Będąc w strefie poza jądrem zgrzeiny fala ultradźwiękowa odbija się od powierzchni granicznej woda-górna blacha, od granicy blacha-blacha i od dolnej powierzchni dolnej blachy. Charakterystyczne jest silne odbicie na granicy blacha-blacha widoczne na prezentacji typu A (rys. 1a).



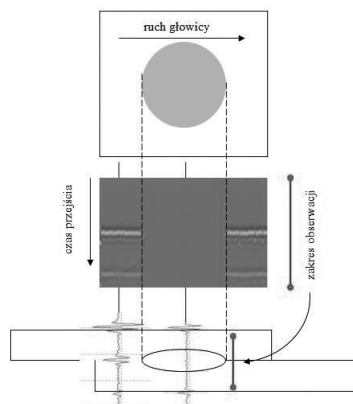
Rys. 1. Obraz A-scan fali ultradźwiękowej. Przetwornik poza jądrem zgrzeiny (a), przetwornik nad jądrem (b)

Fig. 1. The A-scan image of ultrasonic wave. The transmitter beyond the spot weld (a), the transmitter above the spot weld (b)

Dr inż. Marcin Korzeniowski, dr inż. Beata Biało-brzeska, dr inż. Paweł Kustron, mgr inż. Ewa Harapińska – Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny.

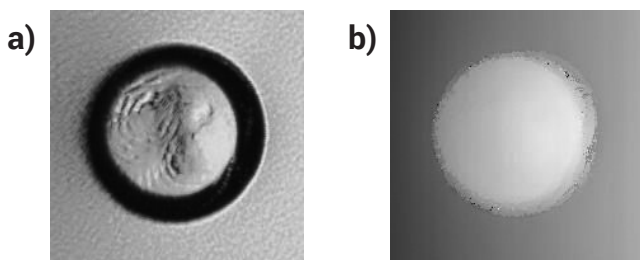
Autor korespondencyjny/Corresponding author: pawel.kustron@pwr.edu.pl

Gdy głowica znajduje się ponad jądrem zgrzeiny (rys. 1b) na obrazie ultradźwiękowym A-scan widoczne są 2 odbicia (zakładając, że jądro jest homogeniczne, bez nieciągłości wewnętrznych), pierwsze - od granicy woda-górna powierzchnia blachy górnej i drugie - odbicie od dolnej powierzchni zgrzeiny. Składając z odpowiednim krokiem odseparowane wybrane impulsy z A-scan w płaszczyźnie X i Y otrzymuje się dwuwymiarowy obraz zeskanowanej powierzchni tzw. C-scan (rys. 2).



Rys. 2. Schemat powstawania prezentacji C-scan na skaningowym mikroskopie akustycznym
Fig. 2. A schematic of the formation of C-scan for scanning acoustic microscope

Oprogramowanie mikroskopu umożliwia śledzenie amplitudy lub czasu przejścia dowolnie wybranego impulsu (odbicie od powierzchni granicznej woda-górna powierzchnia próbki), dlatego też skala szarości reprezentuje wartość amplitudy lub czasu przejścia fali ultradźwiękowej (rys. 3).



Rys. 3. Prezentacja typu C zgrzeiny punktowej, skala szarości reprezentuje amplitudę (a) i czas przejścia (b)
Fig. 3. The presentation of C-scan of the spot weld, grayscale represents amplitude (a) and time of flight (b)

Kalibrując układ pomiarowy poza strefą jądra zgrzeiny i ustawiając zakres pomiarowy obejmujący drugie odbicie otrzymuje się C-scan powierzchni granicznej blacha-błacha. Rozwiązanie to jest wykorzystywane do oceny średnicy jądra, jego kształtu i detekcji nieciągłości wewnętrznych badanych obiektów.

Metodyka badań, materiał do badań

Złącza zgrzewane zostały wykonane z dwóch gatunków blach aluminiowych EN AW5754 H24 (grubość blachy 1.6 mm) oraz EN AW6005 T606 (grubość blachy 3.5 mm). Dodatkowo przed zgrzewaniem materiał poddano modyfikacji polegającej na: przemyciu blach etanolem (złącze nr 2), wstępnym przepolerowaniu (złącze nr 3) oraz zanieczyszczeniu olejem (złącze nr 4). Miało to na celu odzwierciedlenie rzeczywistych warunków produkcyjnych. Ponadto miało to na celu ocenić wpływ wstępnych zabiegów polegających na specjalnym przygotowaniu i oczyszczeniu powierzchni zgrzewanych blach na jakość otrzymywanych połączeń.

Badania z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii akustycznej przeprowadzono za pomocą urządzenia skonstruowanego i wykonanego w Katedrze Materiałoznawstwa Wytrzymałości i Spawalnictwa na Wydziale Mechanicznym

Politechniki Wrocławskiej. Mikroskop akustyczny składa się z trzech niezależnie sterowanych osi, których zadaniem jest przemieszczanie przetwornika. Ruch przetwornika względem osi pionowej „z” służy do ustalania odległości ogniska przetwornika względem powierzchni obiektu.

Wszystkie pomiary wykonano z zastosowaniem następujących parametrów:

- częstotliwość drgań przetwornika: 20 MHz,
- długość ogniska w wodzie: 15 mm,
- wielkość ogniska: 0,2 mm,
- rozdzielczość w osiach x-y: 50µm,
- skala odcieni szarości: 256,
- obszar skanowania: 12x12 mm.

Opracowany system pomiarowy oprócz wizualizacji obszaru ciągłości zgrzein w płaszczyźnie równoległej (prezentacja C-scan) i prostopadłej (B-scan) do powierzchni, umożliwia pomiar średnicy oraz głębokości wgniotu po elektrodach.

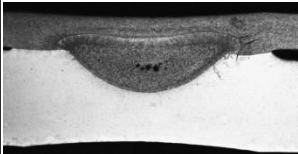
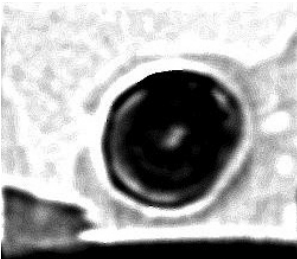
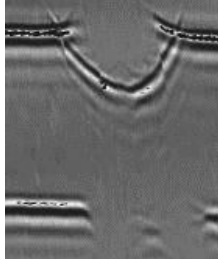
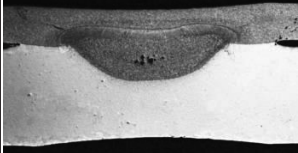
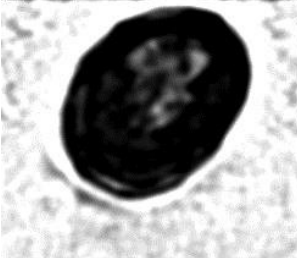
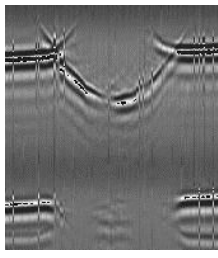
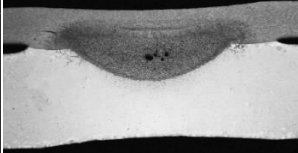

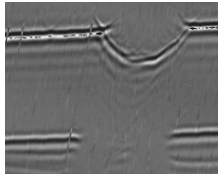
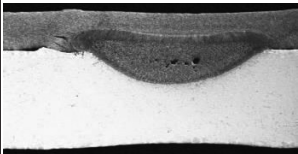
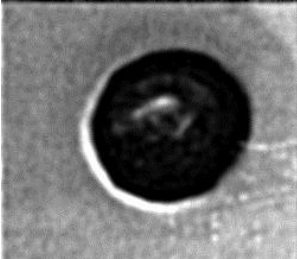
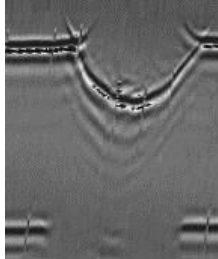
Wyniki badań i ich dyskusja

W tabeli I przedstawiono wyniki badań z zastosowaniem mikroskopii akustycznej przykładowych złączy zgrzewanych punktowo. W kolumnie oznaczonej jako C-scan zamieszczono przekroje ultradźwiękowe równoległe do powierzchni łączonych blach w miejscu ich styku. W kolumnie oznaczonej jako B-scan, zamieszczono przekroje prostopadłe do powierzchni blach wykonane w osi złącza. Na rysunkach 4-7 zaprezentowano wyniki badań niszczących.

Niewątpliwą zaletą mikroskopii akustycznej jest możliwość dokładnego odwzorowania kształtu połączenia zgrzewanego i rozkładu niezgodności wewnątrz w jego wnętrzu. Analiza za pomocą badań metalograficznych możliwa jest jedynie w jednym przekroju, prostopadłym do powierzchni blachy. Wykonane badania wskazują, że połączenia oznaczone jako 1 i 4 w kierunku równoległym do powierzchni mają kształt okrągły natomiast złącza 2 i 3 owalny. Różnice te mogą wynikać z innego stopnia zużycia elektrod.

Zrealizowane badania wykazały, że mikroskopia akustyczna może być wykorzystana do oceny zmian strukturalnych powstałych wewnątrz jądra, które ujawnić można wykorzystując tę metodę, co potwierdzono prezentacjami wyników uzyskanych przez autorów niniejszej pracy. Oprócz zastosowania klasycznej mikroskopii akustycznej coraz częściej do badań zgrzein wykorzystywane są ręczne mini-skanery ultradźwiękowe. Pomimo ich mocno ograniczonej przestrzeni roboczej Thornton, Han, Shergold wykazali [3], że prezentacja C-scan może dostarczyć informacji o kształcie jądra zgrzeiny, nieciągłościach wewnętrznych oraz głębokości wgniotu po elektrodach. Ponadto zespół z University of Windsor Ontario Canada wykorzystał skaningową mikroskopię do oceny złączy w kombinacji nakrętka-błacha [4]. Wstępne wyniki badań wskazują, że mikroskopia akustyczna może służyć do wstępnej oceny jakości złącza i powierzchni styku garbu z blachą. Badania tego zespołu nad zastosowaniem mikroskopii akustycznej do oceny połączeń zgrzewanych, głównie złączy stalowych są jednymi z najbardziej zaawansowanymi pracami prowadzonymi na świecie. Przytoczone wyniki badań, jak również rezultaty uzyskane przez autorów niniejszej pracy potwierdzają możliwość zastosowania mikroskopii akustycznej do oceny połączeń zgrzewanych. Już pierwsze publikacje z tej tematyki, pochodzące z końca lat 90 wiązały wielkie nadzieje z rozwojem tej techniki kontroli [5]. W kolejnych latach skaningowa mikroskopia akustyczna stała się powszechną metodą badań nieniszczących, a zastosowanie prezentacji B i C-scan umożliwiło identyfikację takich niezgodności jak pustki, jamy skurczowe i wtrącenia obce [2]. Automatyczna ocena i identyfikacja niezgodności jest możliwa np. dzięki zastosowaniu algorytmów opartych o sieci neuronowe [6].

Tablica I. Wyniki badań ultradźwiękowych zgrzein punktowych
Table I. Results of ultrasonic tests of spot welds

Nr złącza	Makrostruktura zglądu badanych połączeń	C-scan	B-scan	Średnica [mm]	Wgniot [mm]
1	Złącze nr 1 - powierzchnia blach nie poddana modyfikacji 			6,08	0,27
2	Złącze nr 2 - powierzchnia blach odtłuszczona etanolem 			8,53	0,27
3	Złącze nr 3 - powierzchnia blach polerowana 			5,01	0,28
4	Złącze nr 4 - powierzchnia blach zanieczyszczona olejem 			6,3	0,29

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wszystkie badane złącza posiadają w części środkowej niezgodności wewnętrzne uwidocznione na przekrojach ultradźwiękowych, tj. prezentacjach C-scan i B-scan. Ponadto dla złączy oznaczonych jako 3 oraz 4 na części obwodu zgrzein zaobserwowano strefy słabszego sprzężenia akustycznego (uwidocznione jako jasne pasma), które mogą wskazywać na adhezyjny charakter złącza tzw. przyklejenie. Z uwagi na relatywnie małą rozdzielczość wynikającą głównie z wielkości ogniska jest to ocena jakościowa, która jednak potwierdza badania metalograficzne mikro- i makroskopowe. Przeprowadzone badania wskazują, iż skaningowa mikroskopia ultradźwiękowa może być zastosowana do badań materiałowych połączeń zgrzewanych zarówno pod kątem pomiaru rzeczywistej powierzchni przetopu łączonych blach, jak również w celu ujawniania nieciągłości wewnętrznych takich jak jamy skurczowe, pory i pęcherze gazowe. Jej niewątpliwą zaletą jest możliwość uzyskania dowolnej (aczkolwiek ograniczonej pamięcią jednostki centralnej) liczby przekrojów prostopadłych do powierzchni złącza. Jedynymi nieciągłościami, które nie zostały ujawnione za pomocą skaningowej mikroskopii ultradźwiękowej były mikropęknięcia. Dodatkowo zauważono, że zanieczyszczenie blach olejem, czy wstępne przygotowanie blach poprzez ich oczyszczenie, czy wypolerowanie nie miało wpływu na jakość otrzymanych zgrzein.

Literatura

- [1] Papkala H., Pietras A., Zadroga L.: Zgrzewanie rezystancyjne punktowe blach ocynkowanych, Przegląd Spawalnictwa Nr 5-7, s. 51-57.
- [2] Chertov A. M., Maev R. G., Severin F. M.: Acoustic Microscopy of Internal Structure of Resistance Spot Welds, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 54, no. 8, August 2007.
- [3] Thornton M., Han L., Shergold M.: Progress in NDT of Resistance Spot Welding of Aluminium Using Ultrasonic C-scan, NDT&E International 48 (2012) 30-38.
- [4] Maev R. Gr., Seviaryn F.: Ultrasonic Imaging Inspection of Projection Welds, 5th Pan American Conference for NDT 2-6 October 2011, Cancun, Mexico.
- [5] Maev R. Gr., Watt D. F., Pan R.: Levin V. M., Maslov K. I. Development of High Resolution Ultrasonic Inspection Methods for Welding Microdefectoscopy, Acoustical Imaging Volume 22, 1996, pp 779-784.
- [6] Lee H. T., Wang M., Maev R. G., Maeva E.: A Study on Using Scanning Acoustic Microscopy and Neural Network Techniques to Evaluate the Quality of Resistance Spot Welding, Int. J. Adv. Manuf. Technol. (2003) 22, 727-732.