

ALGORYTM ANALIZY OBRAZU DO DIAGNOSTYKI POŁĄCZEŃ SPAWANYCH

Mariusz RZAŚA¹, Anita SOWA-WATRAK²

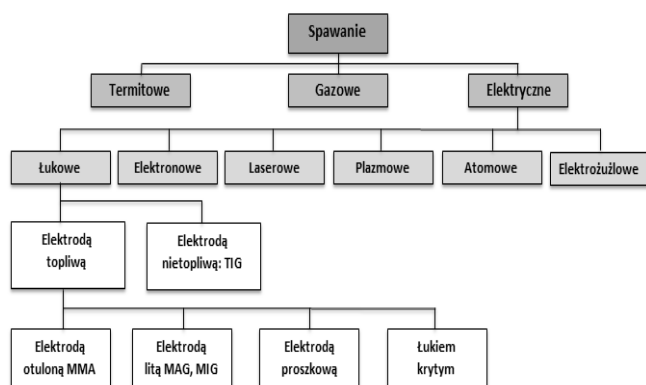
1. Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny
tel.: 77 449 80 71, e-mail: m.rzasa@po.opole.pl
2. Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny
tel.: 697 930 849, e-mail: ani.sowa@doktorant.po.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono opracowany przez autorów algorytm komputerowej analizy obrazu wspomagający proces diagnostyki połączeń spawanych. Zwrócono uwagę na podstawowe wady, jakie powstają w złączach spawanych oraz na podstawowe utrudnienia w diagnozowaniu tych wad. Przedstawiono komputerową metodę analizy obrazu opartą na progowaniu wartości nasycenia koloru. Metoda może być stosowana do diagnozowania obrazów czarno-białych zapisanych w skali odcieni szarości. Ponadto przedstawiono modyfikację metody polegającą na zapisaniu obrazu czarno-białego w paletcie barw RGB, a następnie przeprowadzeniu progowania przy zastosowaniu filtracji RGB. W pracy przedstawiono wyniki przykładowych analiz, ze zwróceniem uwagi na walory zastosowanej metody analizy obrazu. Rozwiązanie to poszerza możliwości obrazowania wykrytych wad materiałowych, co usprawnia klasyfikację złącz spawanych.

Słowa kluczowe: analiza obrazu, połączenia spawane, radiografia, filtracja RGB.

1. WPROWADZENIE

Spawanie należy do podstawowych metod łączenia metali. Jest stosowane od wielu lat, i chociaż technologia spawania jest wciąż modernizowana, nadal nie ma technologii gwarantującej stuprocentową powtarzalność uzyskanych spoin. Wciąż więc zachodzi potrzeba przeprowadzania kontroli wykonanych złącz spawanych metodą nieniszczącą [1, 2].



Rys. 1. Rodzaje spawania w zależności od źródła ciepła

Proces spawania polega na łączeniu materiałów poprzez początkowe ich nagrzanie, a następnie stopienie

miejsca łączenia. W miejscu tym powstaje stop dwóch łączonych metali, który nazywamy przetopem. Spawanie może odbyć się zarówno z dodaniem spoiwa jak i bez niego. Spawanie dzieli się ze względu na sposób wytwarzania temperatury na: termitowe gazowe i elektryczne. Podział metod spawalniczych przedstawiono na rysunku 1 [3].

Spawanie termitowe polega na trwałym łączeniu materiałów obudowanych ogniotrwałą formą, przy pomocy ciekłego stopiwa uzyskanego w wyniku reakcji termitowej zachodzącej w tyglu [4]. Z kolei spawanie gazowe odbywa się przy spalaniu acetylenu w temperaturze dochodzącej do 3100°C. Zaś spawanie elektryczne opiera się na zjawisku łuku elektrycznego, który wytwarza temperaturę do 4000°C.

Żadna z wymienionych metod spawania nie gwarantuje wystarczającej powtarzalności. Spowodowane jest to występowaniem wielu czynników mających wpływ na ten proces. Oddziaływanie wysokiej temperatury powoduje zmiany materiałowe mające wpływ na parametry wytrzymałościowe materiału. Ponadto w połączeniu spawanym spoina nie jest jednorodna w całym przekroju poprzecznym. Ponadto jej geometria zmienia się na jej długości. Czynniki te sprawiają, że konieczne jest kontrolowanie i diagnozowanie połączeń spawanych [3].

Diagnostyka połączenia spawanego polega na wykryciu wad oraz ocenie wpływu tej wady na wytrzymałość złącza spawanego. Weryfikacja wad uwzględnia rodzaj, wielkość, nasilenie oraz ich położenie. Do najczęstszych wad połączeń spawanych zalicza się: brak przetopu, pęcherze kanalikowe, pęcherze gazowe oraz wyciek grani.

Do najbardziej popularnych metod diagnozowania spoin zalicza się metody ultradźwiękowe lub prześwietlanie promieniowaniem rentgenowskim. Metody ultradźwiękowe są tańsze, lecz nie zawsze umożliwiają w pełni oszacować występujące wady. Stosuje się je do wykrywania takich wad jak wtrącenia, wszelkiego rodzaju pęknięcia oraz brak przetopu. Z kolei badania radiograficzne umożliwiają wykrycie i oszacowanie niezgodności w szerokim zakresie. Możliwe jest wykrywanie takich wad jak pęcherze gazowe, wtrącenia żużla, różnego rodzaju wycieki, podtopienia, braki przetopu oraz nierówności lica [5, 6]. Ponieważ proces analizy zdjęć RTG jest czasochłonny w pracy zaproponowano algorytm komputerowego wspomagania procesu diagnozowania spoin.

2. IDEA BADAŃ RADIOGRAFICZNYCH

Badania radiograficzne polegają na prześwietleniu spoiny promieniami rentgenowskimi, a następnie zarejestrowaniu na kliszy fotograficznej stopnia absorpcji promieniowania przez materiał prześwietlany. Osłabienie wiązki promieniowania jest opisane równaniem absorpcji Beera:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x} \quad (1)$$

gdzie: I - natężenie promieniowania X po przejściu przez spoinę,

I_0 - natężenie promieniowania X emitowane ze źródła,

μ - liniowy współczynnik absorpcji,

x - droga przebyta przez wiązkę promieniowania.

Stopień naświetlenia kliszy fotograficznej zależy od rodzaju prześwietlanego materiału, natężenia wiązki promieniowania oraz od czasu naświetlania. Wszelkiego rodzaju niejednorodności w spoinie charakteryzują się różnymi współczynnikami absorpcji, co powoduje różny stopień naświetlenia kliszy fotograficznej. W konsekwencji obserwuje się ciemniejsze obszary w miejscach, gdzie współczynniki absorpcji materiału były mniejsze [7].

Do badań najczęściej używa się lamp rentgenowskich o stałym i nieregulowanym natężeniu promieniowania. Odpowiedni kontrast na radiogramie uzyskuje się poprzez dobór odpowiedniego czasu naświetlania. Niejednokrotnie wymaga to wykonania kilku sekwencji zdjęć. Komputerowo wspomagana analiza obrazu może częściowo zredukować liczbę niezbędnych sekwencji. Ma to szczególne zastosowanie w diagnostyce spoin czołowych i pachwinowych, gdzie występują różne grubości materiału w płaszczyźnie prześwietlania, a dobranie odpowiedniego czasu naświetlania nie jest łatwe.

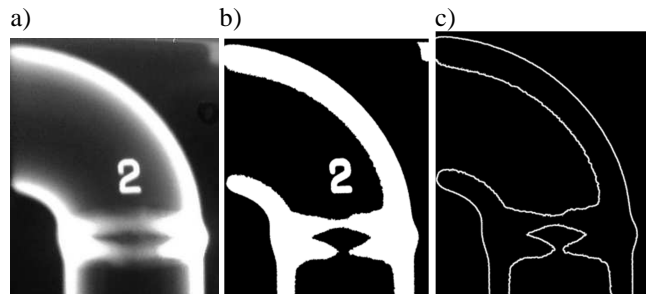
W pracy przedstawiono metodę komputerowego wspomaganie procesu diagnostyki złączy spawanych. Przedstawiono przykłady wykorzystania opisanych metod analizy obrazu. Przedstawione w pracy zdjęcia RTG połączeń spawanych wykonano lampą rentgenowską Scanray 250 zasilaną napięciem 250 kV, dla czasu naświetlania 4 s.

3. IDEA METODY KOMPUTEROWEGO WSPOMAGANIA ANALIZY OBRAZU

Idea metody polega na ustawieniu odpowiedniego progu wartości nasycenia dla poszczególnych pikseli obrazu. Przyporządkowanie pikseli do grup powyżej i poniżej progu powoduje, że obraz staje się obrazem jednobitowym (zbinaryzowanym). W początkowym okresie prac badawczych autorzy tego artykułu stosowali tę metodę do obrazów RTG zapisanych w skali odcieni szarości. W celu lepszego zobrazowania wykrytych wad wyodrębnili kontury obrazu po binaryzacji. Rozwiązanie to umożliwia wyodrębnienie wad materiałowych powstałych w wyniku połączenia spawanego. Komputerowa analiza obrazu ma za zadanie ułatwić podjęcie decyzji o dopuszczeniu spoiny do eksploatacji osobie dokonującej oceny połączeń spawanych.

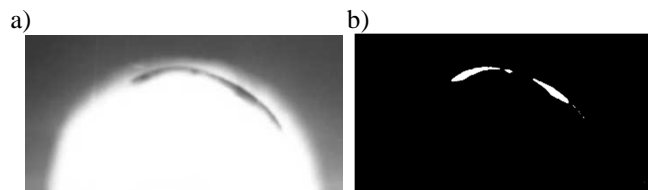
Na rysunku 2 przedstawiono wyniki dla przykładowego połączenia spawanego. Rysunek 2a przedstawia przykładowe zdjęcie rentgenowskie spoiny. Po procesie binaryzacji uzyskano obraz przedstawiony na rysunku 2b. Po wyodrębnieniu krawędzi (rys. 2c) możliwe jest łatwe i szybkie dostrzeżenie wszelkich nieciągłości i ubytków materiału.

Ponieważ zdjęcia RTG są wykonywane w technice czarno-białej, niejako naturalne jest uzyskanie obrazu w skali odcieni szarości, dla którego wyznacza się odpowiedni próg binaryzacji. W wyniku tego procesu, dla pikseli o wartościach luminancji poniżej progu przyporządkowuje się wartość „0”, a pikselom o wartościach luminancji powyżej progu wartość „1”. Uzyskuje się w ten sposób obraz jednobitowy.



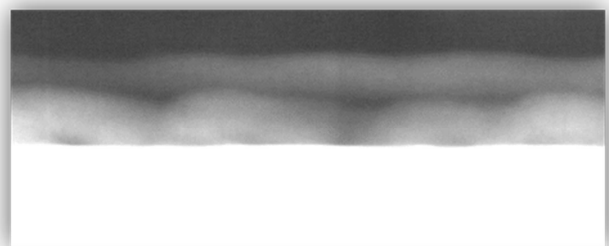
Rys. 2. Idea metody analizy obrazu: a) zdjęcie RTG spoiny, b) obraz po binaryzacji, c) obraz po wyodrębnieniu konturów

Wyodrębnienie konturów znacznie ułatwia wizualną ocenę jakości połączenia spawanego (rys. 2c). Możliwe jest wtedy szybkie dostrzeżenie nieciągłości i wtrąceń materiałów obcych w spoinie, łącznie z obecnością pęcherzy gazowych. Dzięki takiej analizie możliwe jest nie tylko wykrycie wad, ale również ich zmierzenie i wyrażenie w postaci liczbowej.



Rys. 3. Zdjęcie RTG wady w spoinie: a) obraz RTG, b) wyodrębniona wada

Przykładowo na rysunku 3 przedstawiono obraz spoiny z wyraźną wadą. Widoczna wada może być wyodrębniona i przedstawiona w oddzielnym obrazie (rys. 3b). Na tym obrazie można dokonać pomiaru wymiarów tej wady oraz obliczenia jej pola powierzchni. Na podstawie tych parametrów możliwa jest precyzyjniejsza diagnoza złącza spawanego oraz podjęcie decyzji o dopuszczeniu spoiny do eksploatacji.



Rys. 4. Zdjęcie RTG strefy oddziaływania termicznego

Metoda ta nie pozwala jednak na poprawne wykrywanie wszystkich parametrów złącza spawanego. Przykładem może być określenie strefy przetopu lub strefy zmian materiałowych w wyniku oddziaływania ciepła

powstającego podczas procesu spawania. Na przykład na rysunku 4 przedstawiono obraz strefy oddziaływania termicznego. Na zdjęciu wyraźnie jest widoczna strefa oddziaływania termicznego, która spowodowała zmiany w strukturze materiału spawanego. Zmiany te charakteryzują się innym współczynnikiem absorpcji promieniowania X.



Rys. 5. Granica strefy oddziaływania termicznego

Pomimo tego, że na obrazie w skali odcieni szarości wyraźnie widać strefę oddziaływania termicznego, to zastosowanie progowania stopnia szarości umożliwi jedynie wyznaczenie granicy jej oddziaływania (rys. 5). Niejednokrotnie może to powodować pewien niedosyt, gdyż traci się informację o nierównomierności zmian wewnątrz tej strefy.

Spowodowane jest to tym, że w wyniku procesu progowania brana jest do analizy jedynie jedna wartość progowa nasycenia stopnia szarości. Ponadto pole obrazu, które niejednokrotnie oko ludzkie widzi jako szare, w rzeczywistości składa się z mozaiki pikseli o różnym nasyceniu. Stanowi to dodatkową trudność w ustawieniu odpowiedniego progu stopnia szarości. Z tego względu autorzy zaproponowali w pracy pewną modyfikację metody. Modyfikacja ta polega na wprowadzeniu dodatkowych wartości opisujących pikseli celem umożliwienia dokładniejszej analizy obrazu. Rozwiązanie to umożliwi poszerzenie zakresu analizy połączeń spawanych.

4. ZASTOSOWANIE FILTRACJI RGB

Przedstawione w rozdziale 3 rozwiązanie nie umożliwia wydzielenia charakterystycznych stref, jakie występują w połączeniach spawanych, do których zalicza się strefę przetopu oraz zmian termicznych. Z uwagi na wytrzymałość spoiny istotna jest znajomość grubości i ciągłości tych stref. Z tego powodu autorzy opracowali własną metodę poszerzającą zakres i możliwości diagnozowanych spoin.

W warunkach przemysłowych używa się urządzeń rentgenowskich, z których otrzymuje się czarno-białe obrazy prześwietlanych spoin. Obecnie istnieją możliwości uzyskiwania kolorowych obrazów rentgenowskich, jednak do diagnozowania spoin wciąż tego rodzaju urządzenia nie mają uzasadnienia ekonomicznego. Najczęściej używane urządzenia do prześwietlania spoin umożliwiają uzyskanie czarno-białych obrazów na kliszy fotograficznej. Zaproponowana metoda polega na zeskanowaniu obrazu z kliszy i zapisaniu go w formacie kolorowego obrazu RGB. Zeskanowany obraz w dalszym ciągu jest obrazem czarno-białym, lecz każdy piksel obrazu jest opisany za pomocą trzech wartości RGB.

Paleta RGB to paleta składająca się z trzech podstawowych kolorów (czerwony, zielony i niebieski), za pomocą których wyświetlany jest dowolny kolor piksela na obrazie. Polega to na tym, że dowolny odcień szarości

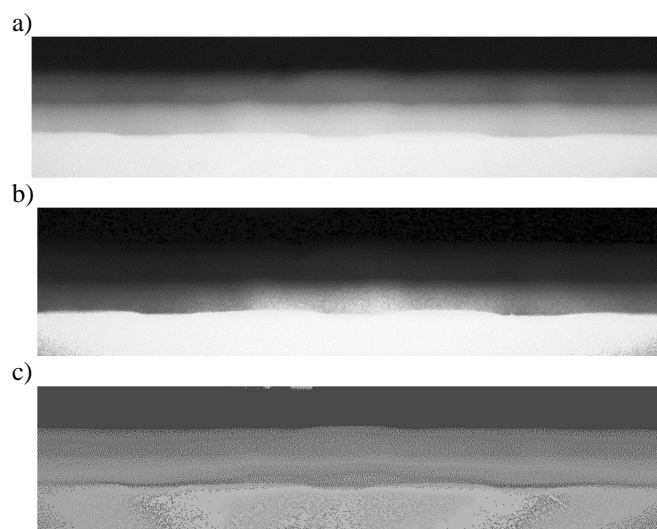
można wyrazić za pomocą trzech podstawowych kolorów RGB. Model YUV określa intensywność nasycenia podstawowych barw RGB w celu uzyskania odpowiedniej wartości skali szarości. Uwzględniając, że ludzkie oko jest bardziej wyczułe na kolor zielony, a najmniej na kolor niebieski wartość stopnia szarości opisuje zależność:

$$GS = 0,299 \cdot R + 0,587 \cdot G + 0,144 \cdot B \quad (2)$$

gdzie: GS - wartość stopnia szarości,

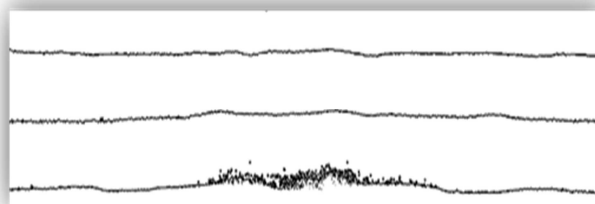
R, G, B – wartości nasycenia kolorów RGB.

Format RGB obrazu oznacza, że każdy piksel obrazu w odcieniach szarości zdeterminowany jest za pomocą trzech liczb. Rozwiązanie to zwiększa zakres i możliwości komputerowej analizy obrazu, umożliwiając wyodrębnienie stref zmian materiałowych w otoczeniu spoiny oraz ocenę strefy zmian termicznych w otoczeniu spoiny.



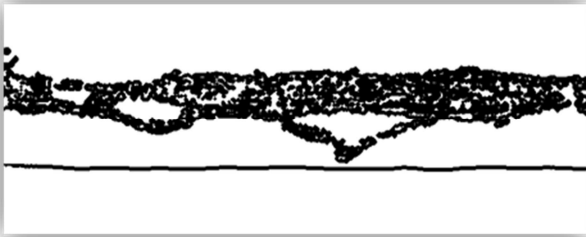
Rys. 6. Spoina dwuwarstwowa: a) zdjęcie RTG spoiny, b) obraz po odfiltrowaniu kolorów R i B, c) obraz po odfiltrowaniu koloru G

Na rysunku 6 przedstawiono efekt działania filtracji z zastosowaniem wybranych kolorów palety RGB. Rysunek 6a przedstawia obraz dwuwarstwowej spoiny w odcieniach szarości zapisany w formacie kolorów RGB. Gdyby obraz ten był zapisany jedynie w skali odcieni możliwe byłoby jedynie poprawne wydzielenie krawędzi pierwszej górnej warstwy. Zastosowanie filtracji kolorów niebieskiego i czerwonego spowodowało, że druga warstwa stała się mniej widoczna, co umożliwia poprawne wyznaczenie granicy środkowej strefy (rys. 6b). Z kolei przeprowadzenie filtracji koloru zielonego spowodowało zmniejszenie różnicy pomiędzy środkowymi warstwami (rys. 6c), umożliwiając w ten sposób poprawne wyznaczenie ostatniej dolnej strefy.



Rys. 7. Warstwy wydzielone metodą selektywnej filtracji RGB

Rysunek 7 przedstawia wynik wydzielenia granic poszczególnych warstw widocznych na rysunku 6. Uzyskanie takiego obrazu umożliwia w łatwy i prosty sposób zmierzyć grubości poszczególnych warstw. Ponadto możliwe jest zautomatyzowane obliczenie grubości warstw, co znacząco usprawnia klasyfikację złączy spawanych.



Rys. 8. Obraz strefy wpływu termicznego dla obrazu z rys. 4

Zalety zaproponowanej metody dobrze obrazuje rysunek 8. Przedstawia on obraz strefy oddziaływania termicznego dla spoiny z rysunku 4. W porównaniu z obrazem uzyskanym jedynie z analizy stopni szarości (rys. 5) zawiera on znacznie więcej szczegółów umożliwiających lepszą ocenę wpływu oddziaływania termicznego na zmiany własności materiału.

Ponadto metoda selektywnej filtracji RGB znacząco poszerza zakres diagnostyki złączy spawanych. Przykładowo umożliwia określenie grubości przetopu złącza spawanego (rys. 9). Przetop jest to strefa, w której dochodzi do powstania stopu metalu spawanego i materiału spoiny. Aby zapewnić odpowiednią wytrzymałość złącza spawanego konieczne jest zachowanie nie tylko ciągłości przetopu, ale również jego odpowiedniej grubości.



Rys. 9. Widok strefy przetopu złącza spawanego

5. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiona w pracy metoda diagnostyczna usprawnia klasyfikację złączy spawanych. Zastosowanie metody selektywnej filtracji RGB znacząco poszerza możliwości metody komputerowego wspomaganie procesu diagnozowania. Metoda nie tylko umożliwia filtrowanie po podstawowych kolorach RGB, ale również umożliwia filtrowanie w kombinacji R-G, R-B i G-R, co dodatkowo zwiększa możliwości obrazowania wykrytych wad materiałowych.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Lipiński T., Szabracki P.: Diagnostyka złączy spawanych za pomocą metod NDT, *Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management*, Nr 69, 2014, s. 127-139.
2. Zuev V.M., Kapustin V.I., Karpenko A.I., Van'kova N.E.: Lipiński T., Szabracki P.: X-ray testing and engineering diagnostics, *Russian Journal of Nondestructive Testing*, March 2006, Vol. 42, Issue 3, s. 208-211.
3. Czuchryj J., Sławomir S.: Niezgodności spawalnicze w złączach spawanych z metali i termoplastycznych tworzyw sztucznych, *Instytut Spawalnictwa*, Gliwice 2016, s. 1-16.
4. Kądziółka A.: Termitowe spawanie – rys historyczny, zmiany, postęp; IV Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna – Spawalnictwo dróg szynowych – jakość, niezawodność, bezpieczeństwo, Bochnia 2010. http://spawalnictwoszyn.pl/wp-content/uploads/2014/07/a_kadziolka.pdf.
5. Czuchryj J., Papkala H., Winiowski A.: Niezgodności w złączach spawanych, Gliwice, 2005, s. 15-21
6. Czuchryj J., Walasek-Konior K., Kondoszek S.: Problemy oceny jakości złączy próbnych wykonanych przez spawaczy podczas egzaminu kwalifikacyjnego, *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach*, 2009 R. 53, nr 2, s. 59-64.
7. Senczyk D.: Metoda pomiaru współczynnika osłabienia promieniowania rentgenowskiego przez materię, *Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych Stary Młyn 2011*, 29-31 sierpnia 2010r., http://www.badania-nieniszczace.info/Badania-Nieniszczace-Nr-01-08-2011/KKBR_2011_Senczyk_%20wsp_oslabienia.pdf.

ALGORITHMS OF IMAGE ANALYSIS FOR DIAGNOSIS OF WELDED CONNECTIONS

This article aims to present an image analysis algorithm for welded diagnostics. It contains information about the welding process and factors affecting its poorly reproducible process. It highlights the essence of welded weld diagnostics, and also lists the most common features of nonconformity. In addition, it illustrates in most cases the methods of diagnosing welds, which include ultrasonic testing or x-ray scans. It then presents the very idea of radiographic research, which consists in the radiographic image of the binarization process. In addition, it presents computer-aided image analysis methods. It also reveals the use of RGB filtration, as evidenced by the numerous illustrations illustrating the double layer weld filtering in both R, B and G color. The article shows that the diagnostic method used improves the classification of welded joints. The use of selective RGB filtering not only enables the filtering of basic RGB colors, but also provides the ability to filter in R-G, R-B and G-R combinations, which will further increase the potential for imaging of material defects found.

Keywords: image analysis, welded joints, radiography, RGB filtering.