

Ryszard Mańczak*
Politechnika Poznańska

Zmiany prędkości fali ultradźwiękowej w obszarze strefy złącza spawanego

The changes of velocity of the ultrasonic wave in the area of the welded joint

ABSTRACT

The article deals with the issues of ultrasonic evaluation of the quality of the welded joint. In the classic approach, the ultrasonic inspection of these connections boils down to the detection of discontinuities in the welded joint and the assessment of their position and size. In addition to maintaining the integrity of the joint structure, it is also important to check the geometric parameters of the weld, including measurable parameters after the metallographic smudge. The author of the article has taken action to use the ultrasonic method to evaluate the geometric parameters of the weld, which have been measured in a destructive way to date. The planned concept of weld assessment requires - in the first step - to determine changes in the velocity of the longitudinal ultrasonic wave in the individual zones of the welded joint. As part of the work carried out, measurements were made of the velocity of the longitudinal ultrasonic wave at the 12 butt joint points of the welded plates. At selected points 15 measurements were taken. Obtained results of the measurements were compared with each other by means of statistical tests, which showed the occurrence of significant differences in the values of the speed of the wave in various areas of the joint, amounting to approx. 30 m/s. Such differentiation of the wave velocity in individual zones of the joint allows for taking further research steps, based on the results of research presented in this article.

Keywords: welded joint; ultrasonic wave velocity in welded joint

STRESZCZENIE

W artykule podjęto problematykę ultradźwiękowej oceny jakości złącza spawanego. W ujęciu klasycznym kontrola ultradźwiękowa tych połączeń sprowadza się do wykrywania nieciągłości w połączeniu spawanym oraz ocenie ich położenia i rozmiarów. Oprócz zachowania ciągłości struktury złącza, istotne jest także zweryfikowanie parametrów geometrycznych spoiny, również tych, które są mierzalne po wykonaniu zglądu metalograficznego. Autor artykułu podjął działania w celu wykorzystania metody ultradźwiękowej do oceny parametrów geometrycznych spoiny, które dotychczas mierzone są w sposób nieniszczący. Planowana koncepcja oceny spoiny wymaga - w pierwszym kroku - wyznaczenia zmian wartości prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej w poszczególnych strefach złącza spawanego. W ramach przeprowadzonych prac wykonano pomiary prędkości podłużnej fali ultradźwiękowej w 12-stu punktach doczołowego złącza spawanego blach. W wybranych punktach przeprowadzono po 15-ście pomiarów. Uzyskane rezultaty pomiarów porównano ze sobą za pomocą testów statystycznych, które wykazały występowanie istotnych różnic w wartościach prędkości fali w różnych obszarach złącza, wynoszące do ok. 30 m/s. Takie zróżnicowanie prędkości fali w poszczególnych strefach złącza pozwala na podjęcie dalszych kroków badawczych, bazujących na wynikach badań prezentowanych w niniejszym artykule.

Słowa kluczowe: połączenie spawane; prędkość fali ultradźwiękowej w spoinie

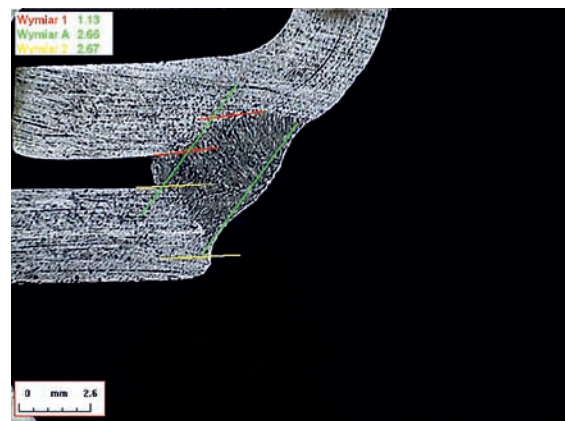
1. Wstęp

W procesie produkcji pojazdów udział technologii spawania jest znaczący, zwłaszcza podczas łączenia elementów nośnych pojazdu. Szkielet samochodu powstaje z przyspawania do ramy nośnej tłoczonych, blaszanych kształtowników, jak też jej wzmocnień poprzecznych [1, 2].

Ramy nośne wykonuje się ze stali niestopowych o małej zawartości węgla lub niskostopowych. Podłużnice tłoczą się z blach o grubości 2,5 ÷ 4 mm w przypadku samochodów osobowych oraz 6 ÷ 8 mm w przypadku samochodów ciężarowych.

O wytrzymałości powstałych spoiny świadczą m.in. wymiary geometryczne złącza, z których część jest możliwa do ustalenia dopiero po wykonaniu zglądu metalograficznego złącza (rys. 1).

W ramach niniejszej pracy podjęto działania, które stanowią jeden z pierwszych etapów opracowania koncepcji oceny wymiarów geometrycznych złącza w sposób nieniszczący z wykorzystaniem metody ultradźwiękowej. Jednym z kluczowych elementów jest oszacowanie wartości prędkości fali ultradźwiękowej w poszczególnych strefach złącza spawanego.

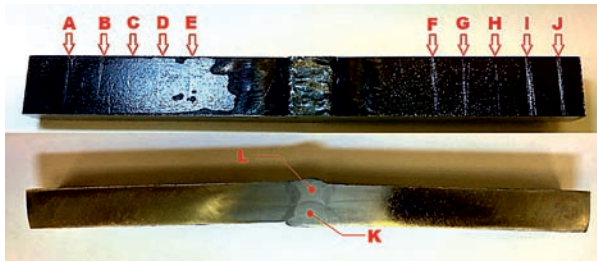


Rys. 1. Zgląd metalograficzny złącza spawanego [1].
Fig. 1. Metallography of a welded joint [1].

2. Układ pomiarowy i obiekt badań

Układ pomiarowy składał się z defektoskopu ultradźwiękowego USM 35XS wraz z głowicą piórową GE .125 A13H005A2 o nominalnej częstotliwości 20 MHz. Badanym obiektem była próbka wycięta ze złącza doczołowego typu blach o zukosowanych krawędziach typu X. Badania prędkości propagacji fali przeprowadzono w spoinie oraz w materiale rodzimym spoiny, w 12-stu punktach wskazanych na 2.

*Autor korespondencyjny. E-mail: ryszard.manczak@put.poznan.pl



Rys. 2. Próbkę badawczą z zaznaczonymi punktami pomiarowymi.
Fig. 2. Research object with measurement points.

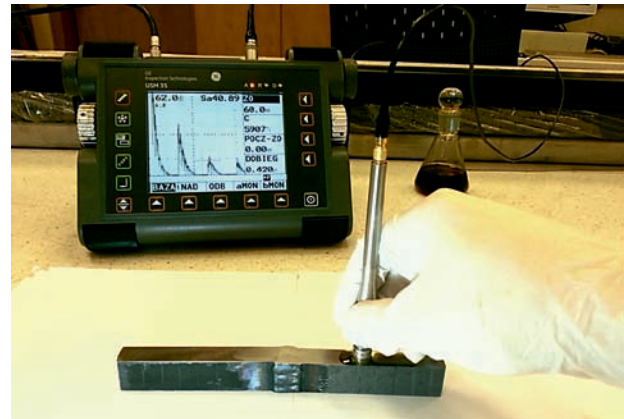
Badana próbka została oszlifowana i wytrawiona nitem (3% roztworem kwasu azotowego w alkoholu etylowym), dzięki czemu uwidoczniła się linia wtopienia, strefa wpływu ciepła oraz wszystkie trzy ściegi spawalnicze. Przed przystąpieniem do pomiarów należało zmierzyć mechanicznie grubość próbki w każdym punkcie pomiarowym.

3. Metodyka badań

Na przygotowaną powierzchnię próbki naniesiono ośrodek sprężający, którym był olej silnikowy. Pomiar prędkości odbywał się przez przyłożenie głowicy piórowej prostopadle do powierzchni próbki, każdorazowo wprowadzając wartość grubości w danym punkcie do defektoskopu w celu jego kalibracji. Po jej dokonaniu możliwy był odczyt wartości prędkości i dobiegu, co zobrazowano na rys. 3. W każdym punkcie pomiary powtórzono 15-ście razy.

4. Wyniki badań

W tabeli 1 przedstawiono wartości prędkości fali zmierzonych defektoskopem po jednej stronie spoiny (punkty A-L). W dolnej części tabeli umieszczono obliczone wartości średniej arytmetycznej (X) oraz odchylenia standardowego (S). Wartości średnie prędkości fali w poszczególnych punktach zobrazowano dodatkowo na rys. 4-6.



Rys. 3. Pomiar prędkości propagacji fali w punkcie F.
Fig. 3. The measurement of ultrasonic wave velocity in point F.

Po wyznaczeniu wartości średnich dla pomiarów w każdym punkcie sprawdzono, czy te wartości można wzajemnie do siebie statystycznie przyrównać.

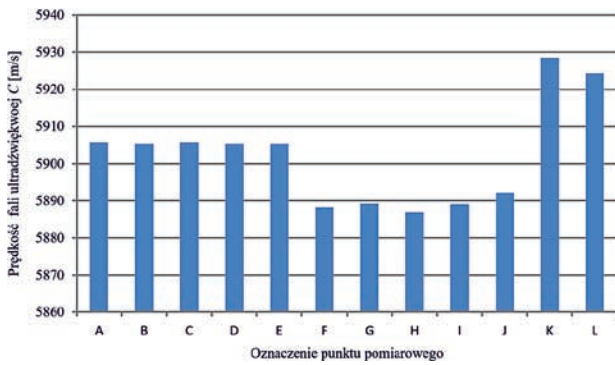
W tym celu skorzystano z testu parametrycznego na porównanie dwóch wartości oczekiwanych (X) ze znanym odchyleniem standardowym (S), normalnym rozkładem populacji oraz znaną liczebnością prób (n). Statystykę każdej z par punktów pomiarowych obliczono przy pomocy zależności podanej w pracy [3]:

$$U = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (1)$$

Z tablic rozkładu normalnego odczytano wartość kwantylu rozkładu na podstawie znajomości poziomu ufności ($p = 0,95$). Wyniki statystyk odniesiono do rozkładu prawdopodobieństwa na krzywej Gaussa, a uzyskane rezultaty zawarto w tabeli 2, w której wartość 1 oznacza, że wyniki są statystycznie ze sobą porównywalne, wartość 0 oznacza sytuację przeciwną.

Tab. 1. Wyniki pomiaru prędkości fali podłużnej C [m/s] w punktach A-L.
Tab. 1. The results of the longitudinal wave velocity C [m/s] measurement at points A-L.

Lp.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	5900	5905	5892	5907	5907	5892	5892	5893	5890	5889	5917	5924
2	5903	5901	5911	5907	5910	5885	5888	5889	5890	5882	5943	5928
3	5907	5909	5907	5904	5907	5892	5885	5889	5890	5893	5947	5924
4	5907	5905	5907	5907	5910	5881	5878	5882	5887	5908	5943	5920
5	5907	5909	5911	5907	5907	5888	5917	5885	5887	5900	5917	5924
6	5903	5909	5907	5904	5907	5888	5888	5878	5890	5893	5917	5924
7	5907	5909	5904	5907	5899	5888	5885	5878	5890	5886	5943	5924
8	5907	5898	5907	5907	5903	5885	5892	5882	5887	5889	5943	5928
9	5907	5901	5904	5904	5907	5892	5888	5889	5890	5886	5921	5924
10	5907	5905	5904	5907	5903	5888	5870	5889	5890	5889	5917	5924
11	5907	5905	5907	5907	5903	5888	5885	5889	5887	5893	5921	5928
12	5903	5905	5904	5896	5896	5888	5888	5889	5890	5886	5917	5924
13	5907	5905	5907	5907	5907	5888	5892	5889	5887	5908	5921	5928
14	5907	5905	5907	5904	5907	5892	5896	5893	5890	5893	5943	5917
15	5907	5909	5907	5904	5907	5888	5892	5889	5890	5886	5917	5924
X	5905,7	5905,3	5905,7	5905,3	5905,3	5888,2	5889,1	5886,9	5889	5892,1	5928,5	5924,3
S	2,28	3,37	4,38	2,94	3,87	3,05	10,01	4,78	1,46	7,80	12,97	3,02



Rys. 4. Wartości średniej prędkości fali ultradźwiękowej w punktach A–L.

Fig. 4. Results of average wave velocity at points A–L.

Tab. 2. Rezultaty obliczeń statystycznych dla wyników pomiarów punktach A–L.

Tab. 2. Results of statistical calculations for results of measurements at points A–L.

Lp.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-
I	-	-	-	-	-	1	1	0	-	-	-	-
J	-	-	-	-	-	0	1	0	1	-	-	-
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-

Różnice w wartościach średnich zmierzonych prędkości stały się jeszcze bardziej zauważalne za sprawą przeprowadzonego drugiego testu parametrycznego, tym razem porównującego średnie wartości prędkości z każdego z trzech obszarów próbki (materiał rodzimy pierwszej blachy – łącznie 75 pomiarów, drugiej – łącznie 75 pomiarów oraz materiał spoiny – łącznie 30 pomiarów). Zastosowano tę samą metodę liczenia co w poprzednim przypadku, również porównując wartość wyliczonych statystyk do kwantylu rozkładu normalnego odpowiedniego dla tego poziomu ufności. W tabelicy 3 zawarto informację o możliwości statystycznego przyrównania do siebie tych wartości średnich. W tabeli 3 wartość 1 oznacza, że wynik są statystycznie ze sobą porównywalne, wartość 0 oznacza sytuację przeciwną.

Tab. 3. Rezultaty obliczeń statystycznych dla wartości średnich prędkości w trzech obszarach.

Tab. 3. Results of statistical calculations for average velocity in three area.

Obszar	Średnia prędkość X [m/s]	Odchylenie standardowe S [m/s]	ABCDE	FGHIJ	KL
ABCDE	5905,48	3,36	-	-	-
EFGHIJ	5889,04	6,31	0	-	-
KL	5926,4	9,49	0	0	-

5. Analiza wyników i podsumowanie

Na próbce całego połączenia spawanego zaznaczono dwanaście punktów pomiarowych. Punkty A, B, C, D i E znajdowały się na jednej z zespalanych ze sobą blach, w strefie materiału rodzimego złącza. Po drugiej stronie, symetrycznie do poprzednich punktów względem osi spoiny zaznaczono punkty F, G, H, I oraz J. Znajdowały się one również w strefie materiału rodzimego, ale już na drugiej z dwóch połączonych blach. Punkty K i L leżały w obrębie samej spoiny. W każdym z punktów pomiarowych wykonano ustalone wcześniej piętnaście pomiarów prędkości, wyliczono z nich wartość średnią i odchylenie standardowe. Wyniki po stronie A, B, C, D oraz E charakteryzowały się wyższymi wartościami średnich i mniejszymi odchyleniami standardowymi od średnich i odchylen w punktach F, G, H, I oraz J. Obie strefy materiału rodzimego cechowały się mniejszą prędkością propagacji fali ultradźwiękowej od strefy spoiny. Wykonane testy parametryczne na porównanie dwóch wartości oczekiwanych pozwoliły określić, czy średnie wartości prędkości punktów pomiarowych jednej strefy można do siebie wzajemnie statystycznie przyrównać. Przy danym poziomie ufności ($p = 0,95$) można odrzucić hipotezę, jakoby średnie par F-J, H-I oraz H-J można do siebie przyrównać. Istotniejszymi testami parametrycznym były jednak kolejne, w których testowano hipotezę przyrównującą do siebie średnie wartości ze średnich w materiale rodzimym do średniej ze średnich w spoinie.

W obszarze zawierającym punkty A, B, C, D i E średnia prędkość wyniosła 5905,48 m/s przy odchyleniu standardowym równym 3,359 m/s. Dla obszaru zawierającego punkty F, G, H, I oraz J średnia prędkość to 5889,04 m/s, a odchylenie – 6,317 m/s. Obszar z punktami K i L w spoinie charakteryzował się prędkością średnią równą 5926,4 m/s i odchyleniem 9,489 m/s. Przy danym (tym samym) poziomie ufności można było odrzucić hipotezę przyrównującą średnie wartości dla wszystkich testowanych par. Innymi słowy – prędkości w tych trzech strefach znacząco się różniły, co wskazywałoby na poprawność koncepcji nieniszczącego badania głębokości strefy wtopienia z użyciem zmiennych prędkości propagacji fali w różnych strefach złącza.

6. Literatura/References

- [1] iepim.pr.radom.pl/dokumenty/BSiTR/Logistyka/Inst 8.pdf, 03.2017.
- [2] e-autonaprawa.pl/artykuly/104/blacharskie-naprawy-nadwozi-cz-i-kwalifikacja-pojazdu-do-naprawy-blacharskiej.html, 09.2017.
- [3] D. Bobrowski, K. Maćkowiak-Łybacka K., „Wybrane metody wnioskowania statystycznego” Poznań, WPP, 2006.