

Zbigniew Strumiński¹, Dariusz Ulbrich^{2*}, Jakub Kowalczyk², Daria Stępak²¹Volkswagen, Września²Politechnika Poznańska

Ultradźwiękowa ocena połączeń zgrzewanych punktowo

Ultrasonic inspection of spot welded joints

ABSTRACT

Spot welded connections are widely used in the construction of modern car bodies. On average, there are about 6,000 spot welded connections on one car body. High-quality connections ensure durability and rigidity of the entire body structure both during its operation and extreme situations such as the car accident on the road. Therefore, it is important to control the quality of spot welded connections, especially with the use of the ultrasonic method. The article contains the results of ultrasonic tests for welded connections made at different welding currents. Ultrasound transducer with a water delay line and frequency of 20 MHz were used. The number of echoes from the connection area and the RWS parameter were determined. In addition, the connections were verified by destructive tests, which was the execution of a shear test on a strength machine and measurement of the diameter of the weld core.

Keywords: vehicle; vehicle body; spot welds; ultrasound

STRESZCZENIE

Połączenia zgrzewane punktowo znajdują szerokie zastosowanie w budowie karoserii nowoczesnych pojazdów samochodowych. Średnio na jednej karoserii pojazdu osobowego znajduje się około 6000 połączeń zgrzewanych punktowo. Wysokiej jakości połączenia zapewniają trwałość i sztywność całej konstrukcji nadwozia zarówno podczas jego eksploatacji, jak i sytuacji ekstremalnych, jakim jest wypadek samochodu na drodze. Dlatego istotne jest kontrolowanie jakości połączeń zgrzewanych punktowo, szczególnie z zastosowaniem metody ultradźwiękowej. W artykule zawarto wyniki badań ultradźwiękowych dla połączeń zgrzewanych wykonanych przy różnym prądzie zgrzewania. Wykorzystano głowice ultradźwiękowe o częstotliwości 20 MHz z wodną linią opóźniającą. Wyznaczono ilość ech powrotnych z obszaru połączenia oraz parametr RWS. Ponadto połączenia poddano weryfikacji badaniami niszczącymi, jakim było wykonanie próby ścinania na maszynie wytrzymałościowej oraz pomiar średnicy jądra zgrzeiny.

Słowa kluczowe: pojazd; karoseria pojazdu; zgrzeiny punktowe; ultradźwięki

1. Wstęp

Połączenia zgrzewane punktowo (oprócz połączeń klejowych, lutospawanych i spawanych laserowo) są powszechnie wykorzystywane dołączenia elementów współcześnie produkowanych karoserii pojazdów samochodowych [1]. Uzyskanie połączeń wysokiej jakości determinuje zachowanie określonych parametrów procesu zgrzewania [2-3]. Istotne jest więc kontrolowanie jakości tych połączeń, szczególnie z wykorzystaniem metod nieniszczących oraz w niewielkim stopniu technik niszczących, dzięki czemu zachowana będzie sztywność i trwałość karoserii podczas eksploatacji.

Badania połączeń zgrzewanych prowadzone są różnymi metodami, a wśród metod nieniszczących dominuje metoda ultradźwiękowa [4-8]. Badania są prowadzone przy wykorzystaniu różnych głowic (np. wysokiej częstotliwości, mozaikowych), a wszystkie sprowadzają się do oszacowania średnicy jądra zgrzeiny, która determinuje jakość i trwałość połączenia zgrzewanego rezystancyjnie, punktowo.

Główny celem wykonanych badań było określenie wartości parametrów procesu zgrzewania, dla których na podstawie badań ultradźwiękowych i mechanicznych uzyskano minimalne wymagania jakościowe dla zgrzein punktowych blach stalowych ocynkowanych galwanicznie.

2. Przebieg badań

Próbki wykonano z wykorzystaniem blach stalowych 0,8 x 1,2 mm ocynkowanych galwanicznie dwustronnie, obecnie

stosowanych w budowie karoserii pojazdów oraz zgrzewarki manualnej firmy ARO, która była wyposażona w elektrody o średnicy 16mm, czoło 4,5mm. Proces zgrzewania charakteryzował się następującymi parametrami:

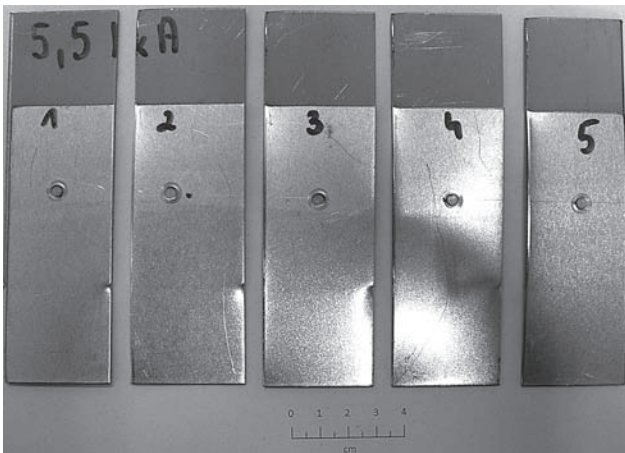
- docisk 2,5 [kN];
- natężenie prądu 7,7, 7,5, 5,7, 5,5 [kA];
- czas zgrzewania 0,28 [s];
- ilość impulsów zgrzewania 2;
- czas przed zgrzewaniem (docisk) 0,8 [s];
- czas po zgrzewaniu (chłodzenie) 0,14 [s];
- kąt zapłonu 90 [°].

W zastosowanym podczas badań cyklu zgrzewania można wyróżnić trzy podstawowe etapy, a mianowicie: docisk łączonych blach, wykonanie zgrzeiny dwoma impulsami oraz chłodzenie, które następowało przy jednoczesnym docisku elektrod do łączonych blach. Widok próbki, na której przygotowano połączenia zgrzewane przedstawiono na rys. 1. Próbki były wykonane przy 4 różnych prądach zgrzewania, co miało spowodować wytworzenie połączeń o zróżnicowanej jakości.

Przygotowane próbki poddano badaniom ultradźwiękowym w Laboratorium Badań Nieniszczących Instytutu Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, z wykorzystaniem defektoskopu USLT 2000 oraz głowicy z opóźnieniem wodnym. Każdą próbkę poddano badaniom ultradźwiękowym siedem razy, co zostało ustalone na podstawie współczynnika zmienności po wykonaniu 30 pomiarów na jednej zgrzeinie. Podczas pomiarów zapisywano ilość ech powrotnych, ilość między ech oraz parametr RWS, czyli

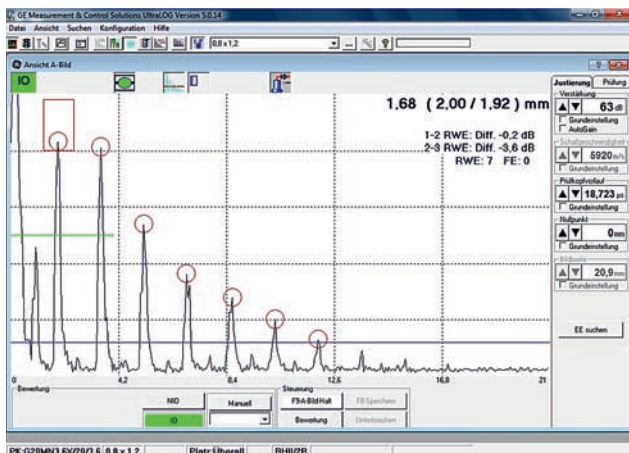
*Autor korespondencyjny. E-mail: dariusz.ulbrich@put.poznan.pl

grubość blach po wykonaniu połączenia. Przykładowy widok ekranu defektoskopu podczas realizacji badań zasadniczych przedstawiono na rys. 2 (połączenie dobrej jakości) oraz rys. 3 (połączenie o zbyt małej średnicy jądra zgrzeiny).



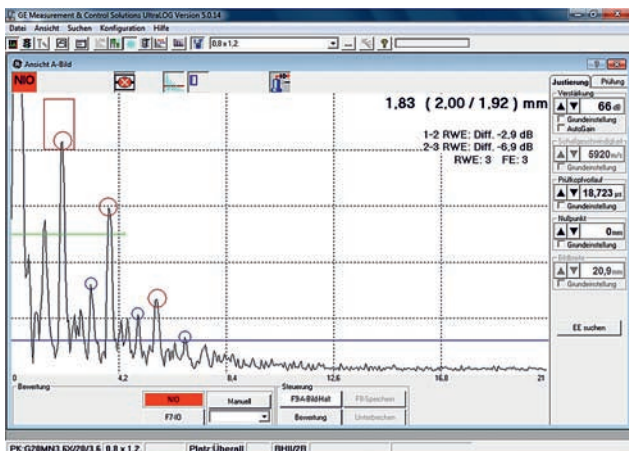
Rys. 1. Próbkę z wykonanymi połączeniami zgrzewanymi punktowo.

Fig. 1. Samples with spot welded connections.



Rys. 2. Widok ekranu defektoskopu zgrzeiny wysokiej jakości.

Fig. 2. High quality view of screen of spot weld.



Rys. 3. Widok ekranu defektoskopu zgrzeiny o zbyt małej średnicy jądra.

Fig. 3. View of the ultrasonic flaw detector screen from to small nugget.

Wyniki pomiarów ultradźwiękowych zostały zweryfikowane na podstawie badań mechanicznych – próby ścinania, zrealizowanych na maszynie wytrzymałościowej. Próbkę zamocowano w uchwytach maszyny wytrzymałościowej firmy TesT (rys. 4) i poddano próbie ścinania. Podczas przeprowadzania tej próby przyjęto następujące nastawy stanowiska do badań wytrzymałościowych:

- jednostka siły [kN];
- jednostka drogi [mm];
- jednostka czasu [s];
- szerokość próbki 40 [mm];
- prędkość testu 25,0 [mm/min];
- max. czas trwania próby 120 [s].



Rys. 4. Próbkę zamocowana w szczękach maszyny wytrzymałościowej.

Fig. 4. The sample mounted in the jaws of the testing machine.

Po rozerwaniu próbek każdą zgrzeinę poddano pomiarze średnicy jądra zgrzeiny (rys. 5) w dwóch prostopadłych kierunkach, a jako wynik ostateczny przyjęto wartość średnią.



Rys. 5. Pomiar średnicy jądra zgrzeiny.

Fig. 5. Measurement of the weld core diameter.

Tab. 1. Średnie wartości parametrów uzyskanych podczas badań ultradźwiękowych i mechanicznych połączeń zgrzewanych punktowo.
Tab. 1. Average values of parameters obtained during ultrasonic and mechanical tests of spot welded connections.

Prąd zgrzewania [kA]	Pomiar Ultradźwiękowy			Próba ścinania		Uwagi
	Echa powrotne	Między echa	RWS	Siła [kN]	Średnica [mm]	
5,50	5,00	1,00	1,80	2,84	Brak	Połączenie niskiej jakości
5,7	4	0	1,78	3,43	2,4	Połączenie niskiej jakości - zbyt mała średnica jądra zgrzeiny
7,5	6	0	1,68	4,98	7,1	Połączenie wysokiej jakości
7,7	6	0	1,67	4,99	6,7	Połączenie wysokiej jakości

3. Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań połączeń zgrzewanych przedstawiono w Tab. 1. Dla każdego połączenia wykonano po 5 próbek, a każdą z nich ultradźwiękową techniką echa przebadano po 7 razy.

Rozpatrując otrzymane wyniki badań, których średnie wartości zostały zamieszczone w tabeli powyżej, należy nadmienić, iż minimalna średnica zgrzeiny dla kombinacji blach 0,8 i 1,2 mm wynosi 3,6 mm, a minimalna siła ścinająca powinna być większa od 2,3 kN. Na podstawie otrzymanych wyników, można stwierdzić, iż wraz ze wzrostem parametru RWS, maleje średnica jądra zgrzeiny zmierzona po próbie ścinania przygotowanego połączenia. W większości badanych próbek wartość tego parametru powyżej 1,80 może sugerować o niskiej jakości wykonanego połączenia, a mianowicie niewystarczającej średnicy powstałego jądra zgrzeiny. Dla natężenia prądu zgrzewania o wartości 5,5 i 5,7 kA otrzymane rezultaty świadczą o wadliwie wykonanym połączeniu zgrzewanym. Pierwszym objawem sugerującym słabą jakość połączenia są między echa uzyskane podczas pomiarów ultradźwiękowych. Dodatkowo w przypadku natężenia prądu 5,7 kA uzyskane średnice jądra zgrzeiny mieszczą się w granicach od 2,0 do 3,0 mm, co jest wymiarem mniejszym od wymaganego dla takiego połączenia. Ponadto, dla natężenia prądu 5,5 kA nie można było określić minimalnej średnicy jądra zgrzeiny, ponieważ wystąpiło zjawisko „mocnego przyklejenia”, czyli przetopienia i połączenia warstw cynku. Jest to zjawisko niepożądane (brak połączenia zasadniczego materiału, połączenie tylko w obszarze warstwy ochronnej) i w przyszłości w miejscach tych połączeń mogłyby powstać ogniska korozji. Biorąc pod uwagę tylko siłę ścinającą, należy stwierdzić, że dla wszystkich przebadanych próbek była ona wyższa od minimalnej, wymaganej normami wewnętrznymi.

4. Podsumowanie

Na podstawie zrealizowanych badań można sformułować następujące stwierdzenia:

- wraz ze wzrostem wartości parametru RWS – grubości połączenia w miejscu wykonania jądra zgrzeiny – maleje wartość średnicy jądra, a w przypadku RWS wyższego od 1,8 wszystkie uzyskane połączenia nie spełniają wewnętrznych wymogów związanych z jakością;

- siła ścinająca, która została wyznaczona na podstawie próby ścinania wykonanej na maszynie wytrzymałościowej nie daje jednoznacznej informacji o jakości połączenia zgrzewanego;
- wraz ze wzrostem prądu zgrzewania, rośnie również wartość siły ścinającej potrzebnej do destrukcji połączenia;
- metoda ultradźwiękowa pozwala na nieniszczącą kontrolę połączeń zgrzewanych blach o grubości 0,8 i 1,2 mm ocynkowanych dwustronnie galwanicznie, użytych podczas badań, a odpowiednie wartości parametrów takich jak RWS, echa powrotne i między echa mogą służyć jako wskaźniki jakości zgrzeiny punktowej.

W kolejnym kroku należy przeprowadzić badania dla innych kombinacji blach karoseryjnych, a także można zastosować nowoczesne defektoskopy, które pozwalają na widok 3D badanego połączenia zgrzewanego.

5. Literatura/References

- [1] J. Ślania, Ł. Kuk „Proces łączenia materiałów do budowy pojazdów i nadwozi w przemyśle samochodowym”, Przegląd Spawalnictwa, no. 3, 2014.
- [2] A. Klimpel „Spawanie zgrzewanie i cięcie metali” WNT, Warszawa 1999.
- [3] H. Papkala „Zgrzewanie oporowe metali” Wydawnictwo KaBe, Krosno 2003.
- [4] M. Vural, A. Akkus “The Ultrasonic Testing of the Spot Welded Different Steel Sheets” Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, vol. 18, September - October 2006.
- [5] R. Maev, A. Chertov, W. Regalado, A. Karloff, P. Lichaa, T. Phan “Real Time Ultrasonic System for Resistance Spot Weld Inspection. Integration in Assembly Line” 4th International Candu In-service inspection and NDT in Canada. 18 – 21 June 2012, Toronto, Canada.
- [6] M.F.M. Yusof, M.A. Kamaruzaman, M. Zubair, M. Ishak “Detection of defects on weld bead through the wavelet analysis of the acquired arc sound signal” Journal of Mechanical Engineering and Sciences, vol. 10, Issue 2, pp. 2031-2042, September 2016.
- [7] A Sifa, A S Baskoro, S Sugeng, B Badruzzaman, T Endramawan “Identification of the Thickness of Nugget on Worksheet Spot Welding Using Non Destructive Test (NDT) – Effect of Pressure” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 306, 2018.
- [8] D. Zhao, Y. Wang, Z. Lin, S. Sheng “An effective quality assessment method for small scale resistance spot welding based on process parameters” NDT & E International, vol. 30, no. 55, pp. 36-41, 2013.