

Dariusz Ulbrich^{1*}, Daria Stępak¹, Jakub Kowalczyk¹, Zbigniew Strumiński²

¹Politechnika Poznańska

²Volkswagen Września

Ultradźwiękowa ocena przyczepności powłoki szpachlówkowej do blachy karoseryjnej

Ultrasonic inspection of adhesion of car putty coating to steel substrate

ABSTRACT

Adhesive coatings, such as, varnish or car putty coatings are widely used in the construction of modern motor vehicles. Therefore it is important to control their quality at the manufacturing stage, which affects the durability of the connection during its exploitation. The paper presents the results of the tests of adhesion of the car putty coating to steel substrate using the ultrasonic method. As a measure of adhesion a reflection coefficient $|r|$ was used calculated on the base of longitudinal wave propagation in the area of the adhesive joint. The tests were performed for car body sheet - car putty coating connection in which the surface preparation of the steel sample was varied. The lowest value of reflection coefficient was obtained for surface grinded manually with 120 abrasive paper, which is recommended by the car putty manufacturer. The highest value of coefficient $|r|$ was calculated for abrasive paper marked P1000. The results of the measurements shown that it is possible to estimate the adhesion of the adhesive coating to the steel substrate based on ultrasonic measurements and the smaller the value of the module $|r|$ the greater the mechanical adhesion of the coating to the substrate.

Keywords: ultrasound; coating; adhesion; reflection coefficient

STRESZCZENIE

Powłoki adhezyjne, takie jak np. powłoki lakiernicze czy szpachlówkowe znajdują szerokie zastosowanie w budowie nowoczesnych pojazdów, szczególnie samochodowych. Dlatego istotne jest kontrolowanie ich jakości na etapie nakładania, która wpływa na trwałość połączenia w trakcie jego eksploatacji. W artykule przedstawiono wyniki badań przyczepności powłoki szpachlówkowej do podłoża stalowego z wykorzystaniem metody ultradźwiękowej. Jako miara przyczepności użyty został moduł ciśnieniowego współczynnika odbicia $|r|$ fali podłużnej propagującej w obszarze połączenia adhezyjnego. Badania wykonano dla połączenia blacha karoseryjna - powłoka szpachlówkowa, w którym zróżnicowano przygotowanie powierzchni próbki stalowej. Najniższą wartość modułu ciśnieniowego współczynnika odbicia uzyskano dla powierzchni szlifowanej ręcznie papierem ściernym o gradacji 120, która jest zalecana przez producenta szpachlówki, a najwyższą dla papieru ściernego o oznaczeniu P1000. Wyniki wykonanych pomiarów pokazują, że możliwe jest szacowanie przyczepności powłoki adhezyjnej do podłoża stalowego na podstawie pomiarów ultradźwiękowych, a im mniejsza jest wartość modułu $|r|$, tym większa jest przyczepność mechaniczna powłoki do podłoża.

Słowa kluczowe: ultradźwięki; powłoka; adhezja; moduł ciśnieniowego współczynnika odbicia

1. Wstęp

Powłoki adhezyjne są szeroko wykorzystywane w budowie pojazdów samochodowych, szczególnie na etapie ich wytwarzania (powłoki lakiernicze), jak i podczas wykonywania napraw blacharsko - lakierniczych karoserii pojazdów (powłoki szpachlówkowo-lakiernicze).

Badania właściwości powłok adhezyjnych mogą być prowadzone metodami niszczącymi i nieniszczącymi. Badania nieniszczące nie uszkadzają ani powłoki ani powierzchni, na której powłoka się znajduje. Badania niszczące prowadzą do trwałego uszkodzenia, które może dotyczyć: powłoki, powłoki i podłoża lub samego podłoża.

Jedną z właściwości powłoki adhezyjnej jest jej przyczepności do podłoża stalowego. Pod pojęciem przyczepności znajduje się zjawisko adhezji. Adhezja określana jest jako jedno z bazowych zjawisk fizycznych i polega na przyciąganiu się cząsteczek dwóch ciał, których warstwy wierzchnie zostały ze sobą połączone [1]. Innymi słowy, jeśli dwa ciała zostaną ze sobą złączone to występują między nimi siły przyciągania. Przyczepność, szczelność oraz grubość

autorzy pracy [2] określają jako trzy podstawowe cechy wpływające na jakość oraz poziom spełniania funkcji powłoki adhezyjnej. Najczęściej stosowaną metodą niszczącą do oceny przyczepności powłok lakierniczych jest metoda rysy. Ze względu jednak na charakter, metody niszczące nie znajdują szerokiego zastosowania w ocenie przyczepności.

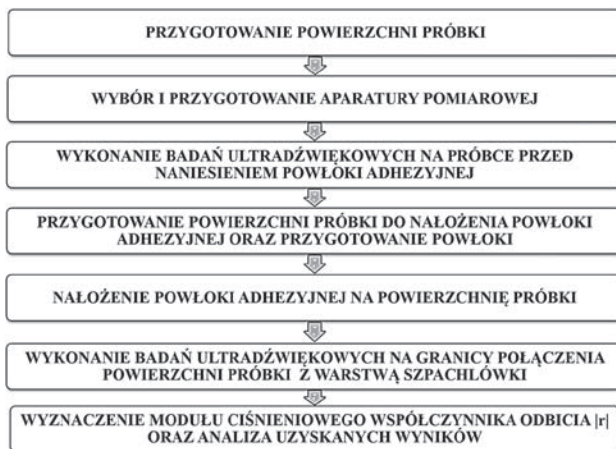
Drugą grupę metod oceny przyczepności stanowią metody nieniszczące. Szczególne zastosowanie znalazły takie metody jak radiograficzna, termograficzna i ultradźwiękowa [3-4]. Metoda ultradźwiękowa może bazować na wyznaczeniu nieniszczącej miary przyczepności, jaką jest moduł ciśnieniowego współczynnika odbicia $|r|$ fali podłużnej, która odbija się od granicy połączenia adhezyjnego [5-9].

Biorąc pod uwagę opublikowane badania w dostępnej literaturze naukowo - technicznej oraz własne doświadczenia autorów niniejszego artykułu, określono cel główny, którym jest oszacowanie rozkładu przyczepności powłoki o adhezyjnym charakterze połączenia z podłożem na podstawie wyznaczonych wartości modułu ciśnieniowego współczynnika odbicia $|r|$ fali podłużnej propagującej w obszarze połączenia.

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

2. Metoda badawcza

Badania przyczepności powłoki szpachlówkowej do blachy karoseryjnej zostały wykonane według schematu przedstawionego na Rys. 1.



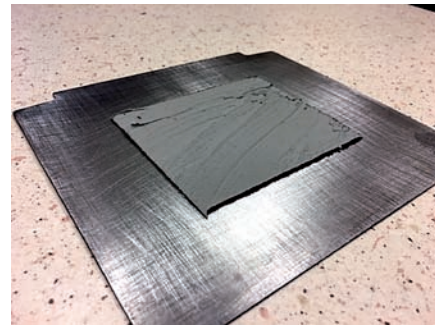
Rys. 1. Schemat realizacji badań przyczepności powłoki szpachlówkowej do blachy karoseryjnej.

Fig. 1. Scheme of implementation of adhesion tests of the car putty coating to the car body sheet.

Badania wykonano na próbkach stalowych, na których przygotowano trzy obszary. Każdy obszar został oszlifowany ręcznie papierem ściernym (wykorzystano papier o oznaczeniu P120, P400 i P1000). Dzięki takiemu zabiegowi uzyskano różne schropowacenie powierzchni podłoża, co powinno się przełożyć na różnicowanie przyczepności powłoki do blachy karoseryjnej. W każdym z obszarów naniesiono 9 miejsc pomiarowych, tak aby uzyskać informacje na temat rozkładu przyczepności w całym obszarze. Na podstawie badań wstępnych oraz wyznaczonego współczynnika zmienności ustalono, że w jednym miejscu pomiarowym należy wykonać 10 pomiarów ultradźwiękowych. Na próbkę wykonaną z blachy karoseryjnej naniesiono warstwę powłoki szpachlówkowej o grubości ok. 5 mm, która została przygotowana i nałożona zgodnie z zaleceniami producenta tego materiału, wykorzystywanego powszechnie w naprawach nadwozi pojazdów samochodowych. Grubość szpachlówki nie wpływa w istotny sposób na wyniki pomiarów ultradźwiękowych, ponieważ ultradźwiękowa fala podłużna wysokiej częstotliwości (20MHz) nie przebije się przez warstwę szpachlówki, lecz odbije się od granicy połączenia powłoka – podłoże, a część energii fali, która wniknie do materiału powłoki zostanie w nim wytłumiona. Przygotowaną próbkę przedstawia Rys. 2.

W badaniach wykorzystano metodę ultradźwiękową, która bazuje na propagacji fali podłużnej o częstotliwości 20 MHz w obszarze połączenia adhezyjnego. Wiązka fali generowana była z głowicy piórowej, która posiada opóźnienie wykonane z tworzywa.

Badania ultradźwiękowe wykonano zarówno przed, jak i po nałożeniu powłoki, a na podstawie zmiany wysokości pierwszego impulsu z dna blachy, w dalszej kolejności, wyznaczono moduł ciśnieniowego współczynnika odbicia $|r|$ fali podłużnej propagującej w obszarze połączenia adhezyjnego powłoki z podłożem.



Rys. 2. Próbką stalowa z nałożoną powłoką szpachlówkową.
Fig. 2. Steel sample with car putty coating applied.

Moduł ciśnieniowego współczynnika obicia został wyznaczony na podstawie zależności:

$$|r| = 10^{\frac{-\Delta W}{20}} \quad (1)$$

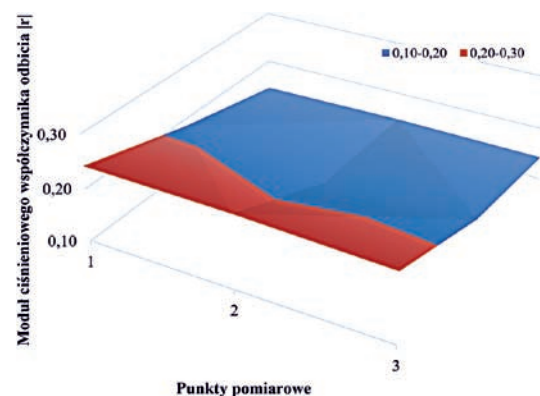
$$\Delta W = 20 \cdot \log \frac{H_1}{h_1} \quad (2)$$

gdzie: $|r|$ – moduł ciśnieniowego współczynnika odbicia; ΔW – spadek wysokości impulsów granicznych w dB; H_1 – wysokość pierwszego (najwyższego) impulsu podczas pomiaru w pierwszym etapie; h_1 – wysokość pierwszego impulsu (najwyższego) podczas pomiaru w drugim etapie.

Moduł ten przyjmuje wartości z przedziału od 0 do 1. Wartość 0 oznacza najlepszą przyczepności powłoki do podłoża, w warunkach warsztatowych nieosiągalną do wykonania. Wartość 1 jest równa z całkowitym brakiem przyczepności powłoki do podłoża. Z powyższego wynika, iż im mniejsza wartość modułu ciśnieniowego współczynnika odbicia $|r|$, tym wartość przyczepności mechanicznej jest wyższa.

3. Wyniki badań i ich analiza

Wyniki zrealizowanych badań zostały przedstawione graficznie na Rys. 3-6.

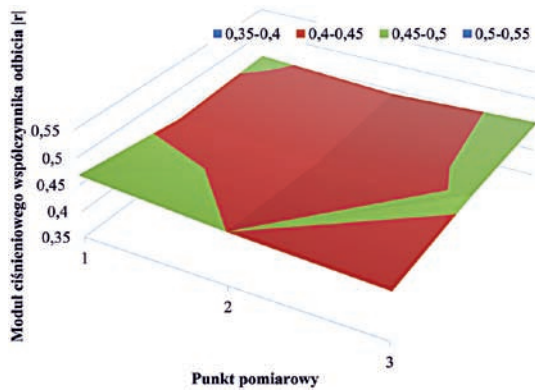


Rys. 3. Wyniki rozkładu wartości modułu $|r|$ dla powierzchni przygotowanej papierem ściernym o oznaczeniu P120.

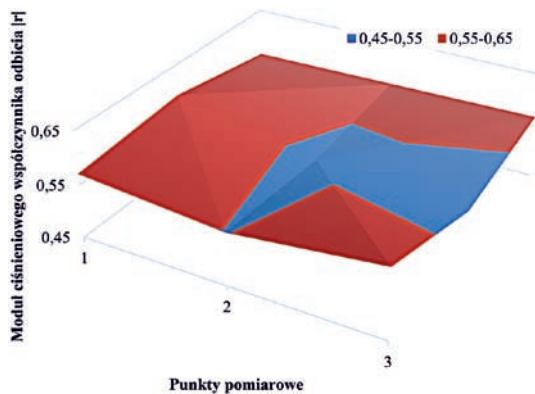
Fig. 3. Results of the reflection coefficient $|r|$ for the surface prepared with abrasive paper P120.

Na podstawie wykonanych badań i wyznaczonych wartości modułu $|r|$ należy stwierdzić, że najlepszą przyczepność, bazując na pomiarach ultradźwiękowych, zapewnia przygotowanie powierzchni papierem ściernym oznaczonym P120. Powierzchnie przygotowane papierem P400 i P1000, na które

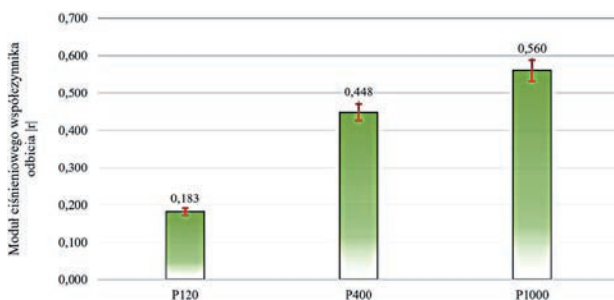
nałożono szpachlówkę wykazując zbliżoną przyczepność. Porównując wyniki modułu ciśnieniowego współczynnika odbicia, należy pamiętać, że im niższa jego wartość, tym przyczepność powłoki do podłoża jest lepsza i zapewnia większą trwałość połączenia adhezyjnego. W poszczególnych obszarach pomiarowych wartości modułu kształtują się na podobnym poziomie, co pozwala przypuszczać, że przyczepność mechaniczna powłoki do podłoża jest bardzo podobna.



Rys. 4. Wyniki rozkładu wartości modułu $|r|$ dla powierzchni przygotowanej papierem ściernym o oznaczeniu P400.
Fig. 4. Results of the reflection coefficient $|r|$ for the surface prepared with abrasive paper P400.



Rys. 5. Wyniki rozkładu wartości modułu $|r|$ dla powierzchni przygotowanej papierem ściernym o oznaczeniu P1000.
Fig. 5. Results of the reflection coefficient $|r|$ for the surface prepared with abrasive paper P1000.



Rys. 6. Średnie wartości modułu ciśnieniowego współczynnika odbicia $|r|$ dla obszarów o różnym przygotowaniu powierzchni podłoża.
Fig. 6. The average values of the reflection coefficient $|r|$ for areas with different surface preparation.

Zróznicowane przygotowanie powierzchni potwierdza, że jest ono istotne z punktu widzenia trwałości połączenia, szczególnie takiego, które jest wykonywane w warsztatach naprawiających karoserie pojazdów samochodowych.

4. Wnioski

Na podstawie analizy literatury, a przede wszystkim wykonanych badań można sformułować następujące wnioski:

- średnie wartości modułu ciśnieniowego współczynnika odbicia $|r|$ ultradźwiękowej fali podłużnej propagującej w obszarze połączenia adhezyjnego są odwrotnie proporcjonalne do wielkości ziarna papieru ściernego, którym przygotowana została powierzchnia podłoża;
- najniższe wartości modułu $|r|$ uzyskano dla powierzchni podłoża przygotowanej zgodnie z zaleceniami producenta szpachlówki samochodowej;
- wartości modułu ciśnieniowego współczynnika odbicia $|r|$ ultradźwiękowej fali podłużnej w poszczególnych obszarach pomiarowych (P120, P400 i P1000) są zbliżone, co świadczy o jednakowym przygotowaniu powierzchni całego obszaru i niewielkich różnicach w rozkładzie przyczepności powłoki do podłoża stalowego.

W kolejnych krokach należy wykonać badania wiążące nieniszczącą miarę przyczepności, jaką jest moduł ciśnieniowego współczynnika odbicia $|r|$ i przyczepnością mechaniczną wyrażoną w MPa. Pozwoli to na opracowanie metody diagnozowania przyczepności i szacowania jej wartości bez ingerencji niszczącej w badane połączenie adhezyjne.

Badania zostały wykonane w ramach działalności statutowej WMRIIT Politechniki Poznańskiej, projekt DSMK/3530.

5. Literatura/References

- [1] M. Żenkiewicz, „Adhezja i modyfikowanie warstwy wierzchniej tworzyw wielkocząsteczkowych” Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2000.
- [2] T. Biestek, S. Sękowski „Metody badań powłok metalowych” Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1973.
- [3] R.D. Adams, B.W. Drinkwater „Nondestructive testing of adhesively-bonded joints” NDT&E International, vol. 30, no. 2, pp. 93-98, 1997.
- [4] R.D. Adams „Adhesive bonding Science, technology and application” Woodhead Publishing Limited, 2005.
- [5] J. Chen, X. Bai, K. Yang, B.F. Ju „The computations of reflection coefficient of multilayered structure based on the reformulation of Thomson-Haskell method” Ultrasonics, vol. 52, pp. 1019-1023, 2012.
- [6] B. Drinkwater, P. Cawley „Measurement of the frequency dependence of the ultrasonic reflection coefficient from thin layers and partially contacting interfaces” Ultrasonics, no. 35, pp. 479-488, 1997.
- [7] M. Jóska „Metodologiczne aspekty oceny przyczepności powłok regeneracyjnych metodą ultradźwiękową” Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2002.
- [8] A. Pilarski „Ultrasonic evaluation of the adhesive degree in layered joints” Materials Evaluation, vol. 43, no. 6, pp. 765-770, 1985.
- [9] M.E. Ibrahim „Nondestructive evaluation of thick-section composites and sandwich structures: A review” Composites: Part A, vol. 64, pp. 36-48, 2014.