

METHODOLOGY AND STAND FOR DEGRADATION'S EVALUATION OF ADHESIVE BONDS TYPE COATING-SUBSTRATE. Part 1.

Summary

In the first part of this article the methodology for evaluation of adhesive bond's degradation between coating and substrate is presented. The development of model's components between coating and substrate is a base to elaborate research methodology. The directions formulated in the research enable the drafting and building of a stand for degradation's evaluation of adhesive bonds between coating and substrate, what is described in the second part of the article.

Key words: coating; base; adhesion connections; connections degradation; test stand; research method

METODYKA I STANOWISKO DO BADAŃ DEGRADACJI POŁĄCZEŃ ADHEZYJNYCH TYPU POWŁOKA-PODŁOŻE. Część 1.

Streszczenie

W pierwszej części artykułu zaprezentowano metodykę badań degradacji adhezyjnych połączeń powłok z podłożem. Metodykę opracowano w oparciu o rozwinięcie składowych modelu połączenia powłoki z podłożem. Przesłanki wynikające z rozwinięcia modelu oraz metodyki stanowiły wytyczne do zaprojektowania i wykonania stanowiska do badań degradacji połączeń powłok z podłożem, które przedstawiono w drugiej części artykułu.

Słowa kluczowe: powłoka; podłoże; połączenia adhezyjne; degradacja połączeń; stanowisko badawcze; metodyka badań

1. Wprowadzenie

Połączenia adhezyjne, takie jak np. połączenia klejowe, połączenia powłok z podłożem, stanowią liczną grupę połączeń szeroko wykorzystywanych w budowie maszyn i urządzeń [1, 2]. Spośród wielu cech użytkowych, jakimi powinny charakteryzować się połączenia adhezyjne, często podstawowe znaczenie ma ich wytrzymałość [3]. Wytrzymałość połączeń można oceniać wieloma metodami, które w ogólności można podzielić na niszczące i nieniszczące. Współcześnie istotne znaczenie przypisuje się metodom nieniszczącym, wśród których największymi możliwościami skutecznej oceny wytrzymałości cechuje się metoda oparta na falach ultradźwiękowych [4, 5].

We współczesnej literaturze naukowej można znaleźć wiele wyników badań potwierdzających możliwość zastosowania metody ultradźwiękowej do oceny wytrzymałości połączeń adhezyjnych, np. [5-8]. Poza doraźną oceną stanu połączeń adhezyjnych istotne jest poznanie procesu zmian wytrzymałości tych połączeń w czasie ich eksploatacji. Ilość czynników, które mogą oddziaływać na połączenia adhezyjne w trakcie ich eksploatacji jest znaczna. Czynnik te, zgodnie z propozycją przedstawioną w pracy [4], można podzielić na mechaniczne, chemiczne i termiczne.

Poznanie przebiegu degradacji połączeń adhezyjnych z wykorzystaniem fal ultradźwiękowych jest związane z przeprowadzeniem badań laboratoryjnych w kontrolowanych i powtarzalnych warunkach. Zbudowanie odpowiedniego stanowiska przeznaczonego do tego celu wymagało opracowania metodyki badań, uwzględniającej czynniki mogące mieć wpływ na przeprowadzane eksperymenty. Należało także określić charakter destrukcyjnego oddziaływania na połączenia w trakcie badań. Po dogłębnej analizie, jako źródło takiego oddziaływania, wybrano drgania mechaniczne.

W celu opracowania metodyki badań postanowiono zastosować podejście wykorzystywane w diagnostyce technicznej maszyn. Na poziomie rozważań metodycznych, wspartych badaniami własnymi, aplikację podejścia diagnostycznego w ultradźwiękowej ocenie stanu połączeń powłok z podłożem zaproponował autor pracy [4]. Punktem wyjścia w rozważaniach tego badacza było ujęcie połączenia powłoki z podłożem w postaci modelu czarnej skrzynki z wyróżnionymi (i opisanymi w postaci wektorów) parametrami stanu, parametrami wejściowymi, zakłóceniami i symptomami diagnostycznymi. Analiza modelu połączenia powłoki z podłożem stanowiła punkt wyjścia do zbudowania stanowiska do badań degradacji połączeń adhezyjnych powłok z podłożem.

2. Model połączenia powłoki z podłożem

Model połączenia powłoki z podłożem, zaproponowany przez autora pracy [4], przedstawiono na rys. 1. Obiekt badań (połączenie powłoki z podłożem) scharakteryzowano wektorem parametrów stanu $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$, którego wartości determinują stan połączenia. Stan opisywano za pomocą zbioru wartości mierzalnych parametrów diagnostycznych, ujętych w postaci wektora $S = [s_1, s_2, \dots, s_n]$.

Relacja R między parametrami diagnostycznymi a parametrami stanu (1) pozwala określić aktualny stan obiektu:

$$R = [X, S] \quad (1)$$

Zarówno w trakcie eksploatacji obiektu technicznego, jak podczas jego diagnozowania, na połączenia oddziałują znane czynniki zewnętrzne, opisane wektorem wejścia

$E = [e_1, e_2, \dots, e_n]$ oraz znane lub nieznanne zakłócenia

ujęte w postaci wektora zakłóceń $Z = [z_1, z_2, \dots, z_n]$.

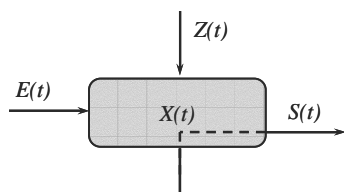
Wartości składowych wektorów X , E , Z i S mogą być

w ogólnym przypadku funkcjami czasu, zatem można je przedstawić w postaci $X(t)$, $E(t)$, $Z(t)$ i $S(t)$. Wpływ na relację (1) mają zarówno elementy wektora wejścia, jak i wektora zakłóceń, wobec czego związek (1), kierując się wskazaniami w pracy [6], można przedstawić w rozszerzonej postaci (2):

$$S(t) = \Phi(X(t) + E(t)) + Z(t) \quad (2)$$

gdzie:

Φ - funkcjonal przejścia,
(pozostałe oznaczenia w tekście powyżej).



Rys. 1. Model połączenia powłoki z podłożem, opracowano na podstawie [4]: $X(t)$ - wektor parametrów stanu, $E(t)$ - wektor parametrów wejścia, $Z(t)$ - wektor zakłóceń, $S(t)$ - wektor parametrów diagnostycznych

Fig. 1. Model of bond between coating and substrate (on base of work [7]): $X(t)$ - vector of state's parameters, $E(t)$ - vector of input's parameters, $Z(t)$ - vector of disturbance, $S(t)$ - vector of diagnostic parameters

Uwzględniając przesłanki z aktualnego stanu wiedzy [3-5] oraz własne dotychczasowe doświadczenia, zdefiniowano w formie opisowej składowe wektorów modelu dla adhezyjnych połączeń powłok z podłożem (rys. 2-5).

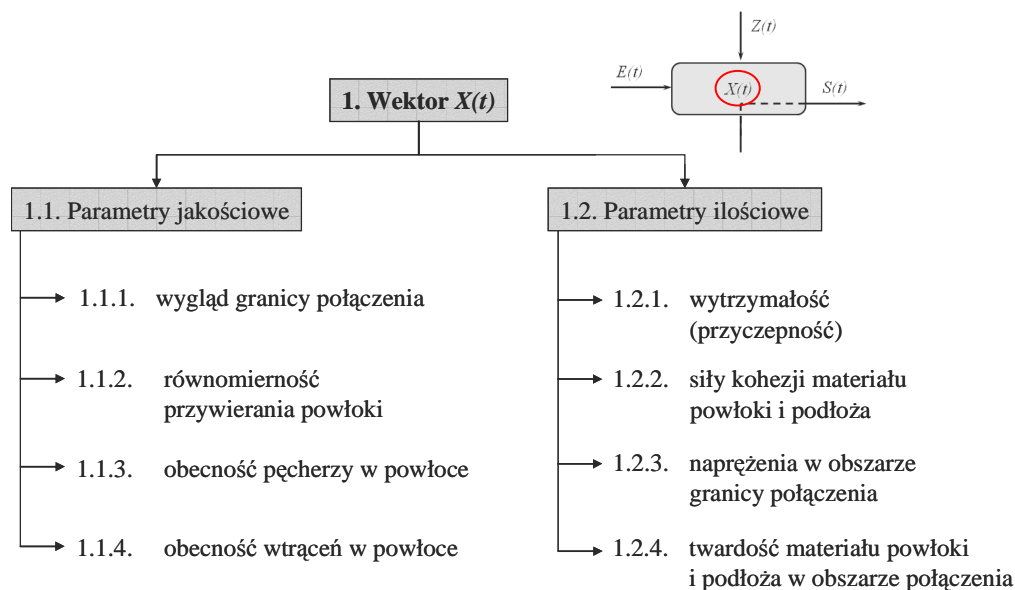
Składowe wektora parametrów stanu $X(t)$ podzielono na jakościowe i ilościowe. Wśród parametrów ilościowych najistotniejsze znaczenie, z punktu widzenia zagadnień przedstawianych w niniejszym artykule, ma wytrzymałość połączeń, którą w przypadku połączeń powłok z podłożem określa się często mianem przyczepności.

Składowe wektora $E(t)$ obejmują parametry procesu wytwarzania i degradacji (rys. 3). W celu zapewnienia jednoznaczności próbek istotne jest określenie rodzaju materiału

powłoki oraz podłoża. Wykonanie każdej próbki wymaga stosowania jednakowego sposobu przygotowania podłoża oraz identycznych proporcji komponentów składowych powłoki, a także zachowania stałej technologii obróbki połączenia w celu utrzymania wymiarów geometrycznych połączenia w ustalonych granicach tolerancji. W fazie degradacji połączeń należy zwrócić uwagę na prawidłowy sposób montażu próbek na stanowisku oraz na zachowanie stałych wartości parametrów powietrza opływającego badane próbki, a także na utrzymanie na stałym poziomie wartości amplitudy i częstotliwości odkształceń badanych połączeń.

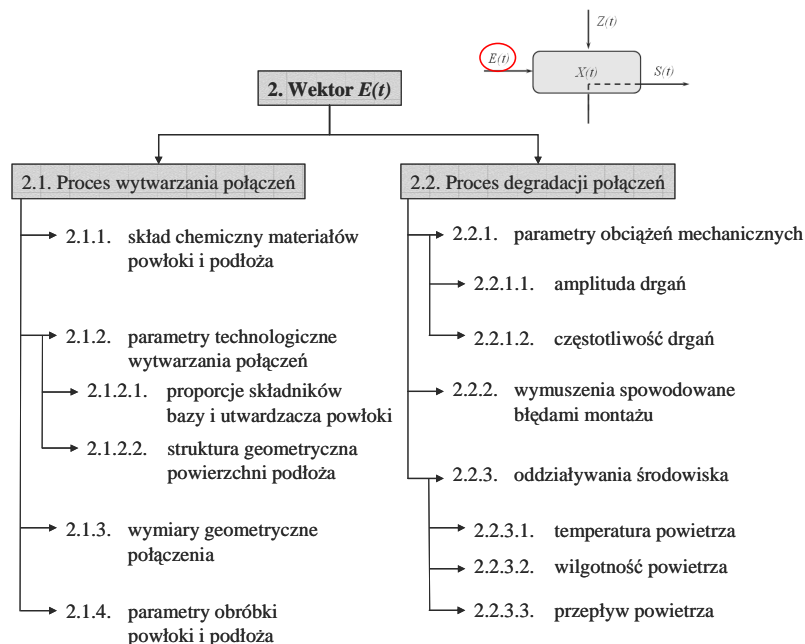
Monitorowanie stanu połączenia powłoki z podłożem jest możliwe za pomocą fal ultradźwiękowych, zwłaszcza fali powierzchniowej i podłużnej (rys. 4). Każdą z tych fal opisano zestawem parametrów, wśród których istotne znaczenie mają parametry wzmocnienia impulsu fali ultradźwiękowej oraz parametry widma tego impulsu. Ponadto, w przypadku fali podłużnej można wykorzystać także moduł ciśnieniowy współczynnika odbicia fali, wprowadzonej od strony podłoża i odbitej od granicy połączenia, a w przypadku fali powierzchniowej – parametr związany z czasem przejścia fali wzdłuż granicy połączenia. W celu zweryfikowania aktualnego stanu połączenia istnieje możliwość wykorzystania dodatkowo zarówno zmiany fazy sygnału odbitego od granicy połączenia, jak i zmiany grubości powłoki, przy czym wymaga to przyłożenia głowic ultradźwiękowych od strony powłoki i pozwala na dokonanie tylko oceny dwustanowej w kategoriach: jest przyczepność lub brak przyczepności powłoki do podłoża.

Podczas prowadzenia badań degradacji na badane połączenie oraz układ obciążający i pomiarowy oddziałują zakłócenia (rys. 5), których wpływ musi zostać utrzymany przynajmniej na stałym poziomie w celu zapewnienia powtarzalnych warunków niszczenia połączeń. Zakłócenia dotyczą m.in. parametrów wejściowych i polegają przykładowo na niezachowaniu jednakowego sposobu przygotowania poszczególnych próbek lub niestabilności w czasie wartości amplitudy i częstotliwości odkształceń połączeń oraz na zmiennym oddziaływaniu warunków środowiskowych.

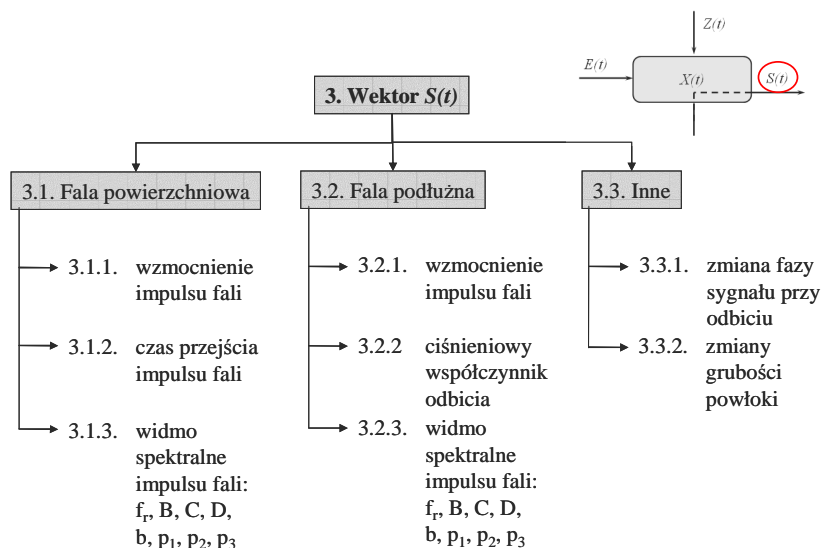


Rys. 2. Składowe wektora parametrów stanu $X(t)$ modelu połączenia powłoki z podłożem

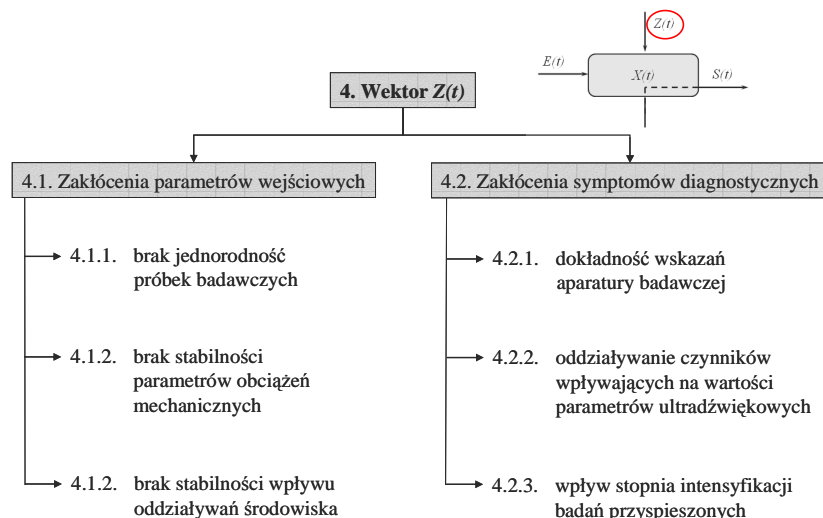
Fig. 2. The components of vector of state's parameters $X(t)$ in the model of the bond between coating and substrate



Rys. 3. Składowe wektora parametrów wejściowych $E(t)$ modelu połączenia powłoki z podłożem
 Fig. 3. Components of vector of input's parameters $X(t)$ in the model of the bond between coating and substrate



Rys. 4. Składowe wektora parametrów diagnostycznych $S(t)$ modelu połączenia powłoki z podłożem
 Fig. 4. Components of vector of diagnostic parameters $S(t)$ in the model of the bond between coating and substrate

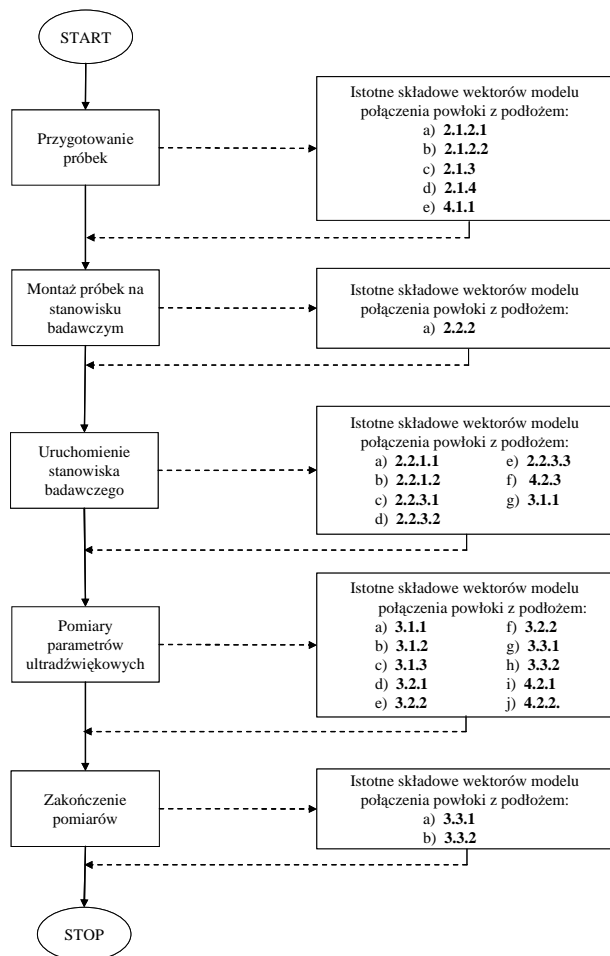


Rys. 5. Składowe wektora zakłóceń $Z(t)$ modelu połączenia powłoki z podłożem
 Fig. 5. Components of disturbance's vector $Z(t)$ in the model of the bond between coating and substrate

Zakłócenia mogą także wpływać na wartości symptomów diagnostycznych. Wpływ ten może być związany z zastosowaniem do badań aparatury o zbyt małej dokładności wskazań lub z prowadzeniem badań degradacji w warunkach zbyt wysokiego stopnia ich zintensyfikowania w porównaniu z warunkami występującymi podczas eksploatacji elementu, zawierającego połączenie powłoki z podłożem.

3. Metodyka badań degradacji połączeń adhezyjnych

Zidentyfikowanie składowych wektorów modelu połączenia powłoki z podłożem pozwoliło na opracowanie sposobu prowadzenia badań degradacji. Sposób ten, stanowiący ogólną metodykę badań, przedstawiono graficznie na rys. 6.



Rys. 6. Schemat metodyki badań degradacji połączenia powłoki z podłożem

Fig. 6. Scheme of methodology of degradation's evaluation of coating-substrate bond

W zaproponowanej schematycznie na rys. 6 ogólnej metodyce badań degradacji połączenia powłoki z podłożem można wyróżnić pięć zasadniczych etapów, obejmujących czynności od przygotowania próbek, poprzez ich montaż na stanowisku, procedurę uruchomienia stanowiska do przeprowadzenia pomiarów. W każdym z etapów, w sposób szczególnie należy rozpatrzeć czynniki, które wskazano poprzez odwołania do składowych wektorów modelu połączenia powłoki z podłożem.

4. Podsumowanie

Opracowanie ogólnej metodyki badań degradacji połączeń adhezyjnych, opartej na rozwinięciu diagnostycznego modelu połączenia powłoki z podłożem, pozwoliło na wskazanie istotnych czynników, które należy rozpatrzeć projektując i wykonując stanowisko do badań degradacji połączeń. Projekt stanowiska wraz realizacją jego wykonania oraz wynikami badań sprawdzających przedstawiono w drugiej części artykułu.

5. Bibliografia

- [1] Klein M.B., Ansari H.: Laser ultrasonic inspection of adhesives used in auto body manufacture, w: 1st International Symposium on Laser Ultrasonics: Science, Technology and Applications, Montreal, 2008.
- [2] Amami S., Bae J.H., Jeong J.W., Joh K.H., Ha M.K.: Acousto-ultrasonic method for defect detection in epoxy adhesive joints, w: 4th NDT in Progress, Prague, 2007.
- [3] Pilarski A.: Ocena wytrzymałości adhezyjnej połączeń warstwowych. Praca doktorska, IPPT-PAN, Warszawa, 1983, maszynopis w Bibliotece IPPT-PAN w Warszawie.
- [4] Jóska M.: Metodologiczne aspekty oceny przyczepności powłok regeneracyjnych metodą ultradźwiękową. Rozprawa nr 372, Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 2002.
- [5] Adams R.D., Drinkwater B.W.: Nondestructive testing of adhesively-bonded joints. NDT&E International, 1997, Vol. 30: 93-98.
- [6] Maev R.Gr., Titov S.: Pulse-echo ultrasonic NDE of adhesive bonds in automotive assembly, w: 9th European Conference of Nondestructive Testing, Berlin, 2006.
- [7] Drinkwater B., Cawley P.: Measurement of the frequency dependence of the ultrasonic reflection coefficient from thin layers and partially contacting interfaces. Ultrasonics, 1997, nr 35: 479-488.
- [8] Moidu A.K., Sinclair A.N., Spelt J.K.: Nondestructive characterization of adhesive joint durability using ultrasonic reflection measurements. Research in Nondestructive Evaluation, 1999, nr 11: 81-95.