

Analiza numeryczna i doświadczalna rozkładu odkształceń i naprężeń podczas badania przyczepności powłoki malarskiej metodą pull-off

Grzegorz Gembalczyk^{1, a)}, Sławomir Duda^{1, b)}, Kinga Czernecka^{2, c)}
and Katarzyna Krawiec^{2, d)}

¹*Silesian University of Technology. Akademicka 2A, 44-100 Gliwice, Poland.*

²*Institute for Engineering of Polymer Materials and Dies. The Branch House for Paints and Plastics in Gliwice. Chorzowska 50A, 44-100 Gliwice, Poland.*

^{a)}Grzegorz.Gembalczyk@polsl.pl

^{b)}Sławomir.Duda@polsl.pl

^{c)}K.Czernecka@impib.pl

^{d)}K.Krawiec@impib.pl

Strzeszenie. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych i numerycznych, których celem było zweryfikowanie zależności pomiędzy siłą oderwania powłoki malarskiej a grubością podłoża podczas przeprowadzania pomiarów przyczepności powłok metodą pull-off. Analizie statystycznej poddano szereg płytek wykonanych ze stali niestopowej konstrukcyjnej gatunku S235JRG2, o grubościach od 2 do 16 mm, pokrytych jednoskładnikową farbą alkidową. Przy wykorzystaniu metody elementów skończonych opracowano model numeryczny stanowiący odwzorowanie testu przyczepności powłoki malarskiej metodą pull-off. Identyfikację modelu przeprowadzono na podstawie badań doświadczalnych odkształceń płyt stalowych o wybranych grubościach. W przeprowadzonych symulacjach numerycznych zidentyfikowano odkształcenie podłoża stalowego i określono stan naprężenia występujący w układzie stempel-płytkę stalowa.

WSTĘP

Jednym z istotnych czynników wpływających na jakość powłok malarskich jest ich odpowiednia przyczepność do podłoża, na które są nanoszone. Dobra przyczepność powłok nadaje nie tylko estetyczny wygląd danym powierzchniom, ale i gwarantuje odpowiednią ochronę podłoża przed niszczącym działaniem czynników atmosferycznych. Przyczepności systemów malarskich do podłoża można oznaczać stosując kilka różnych metod. Można posłużyć się metodami nacięć (metoda siatki nacięć i nacięcia krzyżowego) bądź metodą odrywową (metodą pull-off) [1-3]. Metoda siatki nacięć, ogólnie przyjmowana jako metoda oznaczania przyczepności powłok, tak naprawdę stanowi badanie odwarstwienia powłoki od podłoża. Dlatego właśnie metoda odrywu wykonywana wg [1] uznawana jest jako odpowiednia do pomiaru adhezji powłok. Metoda ta polega na pomiarze minimalnego naprężenia rozciągającego potrzebnego do rozdzielenia lub oderwania powłoki na kierunku prostopadłym do podłoża. Dzięki temu badaniu możliwe jest przeprowadzenie oceny przyczepności do podłoża pojedynczej powłoki jak i przyczepności międzywarstwowej danego systemu powłokowego. Norma [4], opisująca przeprowadzenie testów w warunkach laboratoryjnych, przywołuje trzy różne metody przygotowania badanego układu z czego tylko jedna jest powszechnie stosowana - metoda badania tylko z jednej strony z zastosowaniem jednego stempla pomiarowego, przeznaczona jedynie do sztywnych płytek. Sposób badania jest następujący: po wyschnięciu/utwardzeniu systemu malarskiego na oczyszczonej powłokę nakleja się stemple pomiarowe o danym kształcie i średnicy. Następnie po upływie czasu utwardzenia kleju, w zależności od ustaleń, przecina się bądź nie powłokę po obwodzie stempla aż do podłoża za pomocą urządzenia przecinającego. Następnie umieszcza się badany

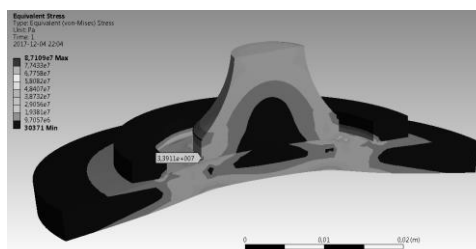
układ w urządzeniu zrywającym i poddaje się kontrolowanej próbie rozciągania (próbie odrywania) mierząc siłę wymaganą do jego rozerwania. Metoda ta, pomimo swych z pozoru prostych założeń przeprowadzenia pomiaru, nie zawsze pozwala na ustalenie realnej wartości przyczepności powłok do podłoża. Na zarejestrowaną wartość końcową wpływa bowiem wiele różnych czynników [4,5]. Dlatego też, w niniejszej pracy podjęto próbę zweryfikowania zależności pomiędzy siłą oderwania powłoki od podłoża a grubością tego podłoża.

IDENTYFIKACJA ODKSZTAŁCEŃ I NAPRĘŻEŃ WYSTĘPUJĄCYCH W UKŁADZIE STEMPEL-PODŁOŻE PODCZAS TESTU PULL-OFF

Chcąc wyznaczyć odkształcenia i naprężenia jakie występują w blachach podczas testu pull-off opracowano model numeryczny z wykorzystaniem metody elementów skończonych, w którym uwzględniono blachę, tuleję zewnętrzną urządzenia pomiarowego, stempeł oraz warstwę kleju łączącego stempeł z blachą. Weryfikacja modelu numerycznego przeprowadzona została w oparciu o wyniki badań doświadczalnych odkształceń blach, które wykonano metodą tensometryczną. Podczas testów laboratoryjnych przeprowadzono badania odrywalności dla blach o grubości 2, 8, 10 i 16 mm. Zarejestrowane wartości siły odrywającej zadano w modelu numerycznym. Weryfikację modelu przeprowadzono w odniesieniu do zmierzonych odkształceń blachy. Maksymalny błąd względny pomiędzy wynikami doświadczenia a symulacji numerycznej wyniósł 13.2%, a błąd średni 8.5%. Na podstawie opracowanego modelu numerycznego przeprowadzono serię badań symulacyjnych dla blach o grubościach 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 i 16 mm. Zadane siły zgodne były ze średnimi wartościami uzyskanymi przy oderwaniu powłoki podczas testów doświadczalnych. Podczas symulacji określono maksymalną deformację blachy, odkształcenia na dolnej stronie blachy, a także stan naprężenia w kontakcie pomiędzy blachą a stemplem.



(a)



(b)

RYS. 1. Doświadczalne i numeryczne badanie przyczepności powłoki metodą pull-off: a) pomiar doświadczalny urządzeniem PosiTest AT-A Automatic, b) badanie symulacyjne

PODSUMOWANIE

Wykonane obliczenia umożliwiły lepsze poznanie mechanizmu oderwania powłoki od podłoża, co w dalszej kolejności w dużym stopniu ułatwia interpretację oraz weryfikację uzyskanych wyników. Badania wykazały, że istnieje korelacja pomiędzy wartością przyłożonej siły odrywającej a grubością płytki stalowej. Analiza uzyskanych wyników pozwala sformułować wniosek, że oderwanie powłoki ściśle zależy od maksymalnego naprężenia występującego w połączeniu stempla z płytką, natomiast nie jest zależne od maksymalnych odkształceń podłoża.

LITERATURA

1. PN-EN ISO 4624:2016-05 Farby i lakiery -- Próba odrywania do oceny przyczepności.
2. PN-EN ISO 16276-1:2008 Ochrona konstrukcji stalowych przed korozją za pomocą ochronnych systemów malarskich -- Ocena i kryteria przyjęcia adhezji/kohezji (wytrzymałości na odrywanie) powłoki -- Część 1: Badanie metodą odrywania.
3. ASTM D 4541-09 Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers.
4. R. Nilsen and J. Scheie, Testing the accuracy of adhesion/cohesion equipment, Protective Coatings Europe 1(11), 24-32 (1996)
5. J. Andziak, Z. Chyba and J. Kobus, Ocena przyczepności powłok lakierowych, Inżynieria powierzchni, 4, 36-43 (2003)