



Organizator:  
Politechnika Warszawska  
Instytut Techniki Wytwarzania

Przewodniczący:  
Lucjan Dąbrowski  
ld@meil.pw.edu.pl  
http://snoe.meil.pw.edu.pl

Szkoła Naukowa Obróbek Erozyjnych

SNOE

Artykuły naukowe z 2015 r.

Patronat naukowy: SEKCJA PODSTAW TECHNOLOGII KOMITETU BUDOWY MASZYN POLSKIEJ AKADEMII NAUK

## Właściwości i aplikacje systemu powłokowego antygraffiti

### Properties and applications of the anti-graffiti coating system

NORBERT RADEK  
ŁUKASZ PASIECZYŃSKI\*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.12.533

W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości systemu powłokowego antygraffiti dla taboru kolejowego. Ocenę właściwości przeprowadzono na podstawie pomiarów twardości, przyczepności, struktury geometrycznej powierzchni oraz badań odporności na korozję i wilgoć. Badania przeprowadzono na systemie powłokowym antygraffiti, który składał się z następujących warstw: antykorozyjnego podkładu epoksydowego, szpachli, podkładu wypełniającego, lakieru bazowego oraz bezbarwnego lakieru antygraffiti BO100-AGR. Powłoki zostały naniesione na próbki ze stali S355 za pomocą pistoletów firmy SATA. Ze względu na swoje właściwości system powłokowy antygraffiti może być z powodzeniem stosowany na pojazdach szynowych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** antygraffiti, system powłokowy, właściwości, tabor kolejowy

*The paper presents the results of the properties of anti-graffiti coating system for rolling stock. The determination was based on measurements of hardness, adhesion, surface geometric structure and study the corrosion resistance and moisture. The study was conducted on anti-graffiti coating system, which consisted of the following layers: corrosion epoxy primer, putty, primer filler, basecoat and clearcoat anti-graffiti BO100-AGR. The coatings were applied to the sample with S355 steel using guns SATA. Because of its properties, anti-graffiti coating system can be successfully used on trains.*

**KEYWORDS:** anti-graffiti, coating system, properties, rolling stock

Ochrona antykorozyjna jest złożonym, wielopoziomowym procesem uzależnionym od wielu czynników. Czynnikami tymi są: materiały konstrukcyjne, sposób obróbki i łączenia materiałów, geometria konstrukcji, powłoki lakiernicze, czynnik ludzki oraz warunki atmosferyczne [1, 2]. W celu

zapewnienia wymaganej odporności korozyjnej należy zapewnić odpowiedni dobór materiałów konstrukcyjnych rozumiany jako użycie starannie dobranych stopów metali wykazujących podwyższoną odporność korozyjną lub zastąpienie metalu tworzywami sztucznymi oraz dobór powłok ochronnych adekwatnych do warunków eksploatacyjnych. Pojazd powinien mieć geometrię, która pozwoli spełnić wymagane właściwości użytkowe, ale również umożliwiającą właściwe zabezpieczenie antykorozyjne, poprzez unikanie ostrych krawędzi, pół-zamkniętych przestrzeni itp. Ważnym procesem na tym etapie jest przygotowanie powierzchni przed malowaniem, zapewnienie odpowiedniego rozwinięcia powierzchni, pozbycie się niepożądanych tlenków metalu z powierzchni konstrukcji oraz zanieczyszczeń organicznych w postaci tłuszczów i olejów.

Kolejnym etapem zabezpieczenia przedmiotu przed korozją jest dobór powłoki lakierniczej [3, 4]. Należy zwrócić uwagę na oczekiwany czas trwałości eksploatacyjnej taboru, który jest liczony w dziesiątkach lat z możliwością naprawy w okresie eksploatacji. Stosowane są specjalne systemy, które muszą nie tylko spełniać wymogi ochrony antykorozyjnej, ale również normy dotyczące palności. Podczas nanoszenia kolejnych warstw systemu lakierniczego należy trzymać się ściśle opracowanej technologii oraz bezwzględnie przestrzegać reżimów czasowych i temperaturowych.

Straty spowodowane korozją nie są tylko problemem producenta czy użytkownika końcowego, lecz także problemem społecznym wpływającym ujemnie na wielkość dochodu narodowego.

Na sumę strat wywołanych przez korozję składają się:

- straty bezpośrednie - wartość złomowanych wskutek korozji urządzeń, konstrukcji i aparatury oraz zniszczonych przez korozję budowli i budynków, jak też koszty materiałowe i robocizna konieczne do remontów lub wymiany skorodowanych elementów urządzeń, budowli itp.
- straty pośrednie - koszty postojów i strat produkcyjnych, koszty surowców, półfabrykatów i wyrobów gotowych, straty energii i przerw w jej

\* Dr hab. inż. Norbert Radek (norrad@tu.kielce.pl), mgr inż. Łukasz Pasiecznyński (l.pasiecznynski@gmail.com)

dostarczaniu, skutki finansowe pogorszenia jakości wyrobów, straty u kooperantów, kary umowne itp.

Również ważnym problemem jest ochrona malatury przed użytkownikiem końcowym oraz zapewnienie właściwej eksploatacji pojazdu.

Powłoki nanoszone na tabor kolejowy mogą być mierzone różnymi metodami [5÷7].

W pracy przedstawiono wyniki badań mechanicznych oraz laboratoryjnych badań eksploatacyjnych zastosowania bezbarwnego lakieru antygraffiti BO100-AGR w systemie lakierniczym z przeznaczeniem dla taboru kolejowego. Zwrócono uwagę na możliwe skrócenie przestojów taboru oraz – wydłużenie okresów międzynaprawczych. Zastosowanie powłoki o zmniejszonej adhezji powoduje skrócenie czasu kontaktu oraz zmniejszenie powierzchni malatury jaka kontaktuje się z niebezpiecznymi substancjami. Zastosowanie BO100-AGR ma na celu ułatwienie utrzymania pojazdu w czystości oraz eliminację agresywnych zmywaczy.

### Materiały i parametry obróbki

Powłoki naniesiono za pomocą pistoletów firmy SATA na próbki ze stali węglowej S355 o wymiarach 150 mm x 100 mm. Powierzchnię próbek przed naniesieniem powłok szlifowano papierem ściernym o uziarnieniu P80. Wykonano system powłokowy składający się z następujących warstw: antykorozyjny podkład epoksydowy, szpachla, podkład wypełniający, lakier bazowy oraz bezbarwny lakier antygraffiti BO100-AGR.

Każdą warstwę suszono zgodnie z wymaganiami kart technologicznych. Wytworzone systemy powłokowe kondycjonowano w warunkach temperatury 23°C oraz wilgotności 50% w celu przeprowadzenia badań wytrzymałościowych suchej powłoki.

Opierając się na zdobytych doświadczeniach własnych przyjęto następujące parametry nanoszenia powłok lakierniczych:

- temperatura: 22 - 26°C;
- ciśnienie: 1,8-2,0 bar;
- średnica dyszy:  $\Phi 1,3 - \Phi 1,4$  mm;
- odparowanie: 15 minut między warstwami;
- grubość powłoki „antygraffiti”: 40-60  $\mu\text{m}$ ;
- aplikacja: dwie warstwy;
- temperatura suszenia: 60°C;
- czas suszenia: 60 minut.

### Analiza wyników badań

Próbki poddano testom, które miały na celu określić ich właściwości użytkowe, wytrzymałość mechaniczną oraz odporność korozyjną. Wykonano pomiary grubości dla całego systemu powłokowego antygraffiti metodą indukcji magnetycznej, przeprowadzono testy przyczepności metodą siatki nacięć i odrywania. Ponadto wykonano również pomiary twardości metodą tłumienia wahadła Koeniga oraz próby zginania. Badania wykonano według obecnie stosowanych norm. Do każdego badania użyto 5 próbek, co umożliwiło uśrednienie uzyskanych wyników badań. Zbiorcze wyniki badań przedstawiono w tabeli 1.

Tab.1. Wybrane właściwości suchej powłoki na stali S355

Badanie	Norma	Wynik
Grubość systemu powłokowego antygraffiti [ $\mu\text{m}$ ]	PN-EN ISO 2808	350-380
Siatka nacięć	PN-EN ISO 2409	Gt0
Przyczepność [MPa]	PN-EN ISO 4624	3,66
Twardość wahadłowa [s]	PN-EN ISO 1522	171
Próba zginania [mm]	PN-EN ISO 6860	42

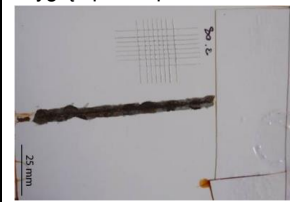
Wykonano pomiary „skórki pomarańczowej”, która odpowiada za ostateczny wygląd powłoki. Podczas pomiaru urządzenie skanuje optycznie promieniem laserowym pofalowanie powierzchni powłoki, podobnie jak oczy rejestruje ciemno-jasny wzór odbicia. Wyniki przedstawione są w pięciu zakresach długości fali od 0,1 do 30 mm (tabela 2).

Tab. 2. Wyniki pomiarów skórki pomarańczowej


Parametr (odpowiadający długości fali)	Zakres [mm]	Wynik	Odchylenie stand.
du	0,1 <	17,6	2,2
Wa	0,1 – 0,3	35,0	1,6
Wb	0,3 – 1	62,7	1,4
Wc	1 – 3	40,8	0,6
Wd	3 – 10	26,9	0,4
We	10 – 30	23,8	5,7
LW	1,2 - 12	22,3	1,0
SW	0,3 – 1,2	60,0	0,4
DOI	-	76,9	0,6

Przeprowadzono testy odporności na agresywne warunki środowiska (korozja oraz wilgoć) zakończono oceną po 1000 godzin ekspozycji z wynikiem braku zmian w powłoce (tabela 3 i 4). Jest to minimalny czas jaki powłoka jest odporna na oddziaływanie środowiska.

Tab. 3. Wyniki badań odporności korozyjnej

Czas ekspozycji na mgłę solną [h]	1000
Odporność na działania mgły solnej [h]	Powyżej 1000
Stopień spęcherzenia	0
Stopień skorodowania	0
Stopień złuszczenia	0
Stopień spękania	0
Stopień korozji nitkowej	0
Stopień odlaminowania wokół rysy [mm]	2
Stopień skorodowania wokół rysy [mm]	0,3
Wygląd próbki po badaniu	

Tab. 4. Wyniki badań odporności na wilgoć

Czas ekspozycji na mgłę solną [h]	1000
Odporność na działania mgły solnej [h]	Powyżej 1000
Stopień spęcherzenia	Miejscowe 2(S3)
Stopień skorodowania	0
Stopień złuszczenia	0
Stopień spękania	0
Wygląd próbki po badaniu	

Przeprowadzono także próby zmywania spary'u nakładanego na lakiery antygraffiti. Na próbkę z systemem lakierniczym nanoszono kilka różnych lakierów graffiti. Tak przygotowane panele zostawiano zarówno w warunkach otoczenia jak i na słońcu od jednej godziny do 72 godzin. Po tym czasie przeprowadzono zmywanie lakieru graffiti z powłoki, zaczynając od użycia ciepłej wody pod zwiększonym ciśnieniem. Niewielkie pozostałości spray'u zmywano rozpuszczalnikiem nitro. Efekty wykonanych prób przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Zmywanie spary'u naniesionego na powłokę antygraffiti

Prezentowany lakier antygraffiti umożliwia usuwanie zanieczyszczeń w tym lakierów graffiti wodą pod zwiększonym ciśnieniem. Nie ma konieczności stosowania środków chemicznych do kompleksowego mycia. Ewentualne pozostałe fragmenty graffiti można usunąć przy zastosowaniu popularnych zmywaczy, bez obawy uszkodzenia warstwy lakieru bezbarwnego, ponieważ ilość pozostałych do usunięcia zanieczyszczeń oraz łatwość ich usuwania nie wymaga zastosowania długich czasów oddziaływania zmywacza z powierzchnią.

Podczas zmywania farby graffiti wodą pod ciśnieniem zaobserwowano usunięcie w znacznym stopniu powłoki graffiti. Całość wyczyszczono poprzez jednorazowe przetrucie rozpuszczalnikiem nitro. Ograniczenie stosowania zmywaczy chemicznych przyczynia się do ochrony środowiska. Stosowanie wody pod ciśnieniem, jako środka myjącego zmniejsza koszty czyszczenia powierzchni.

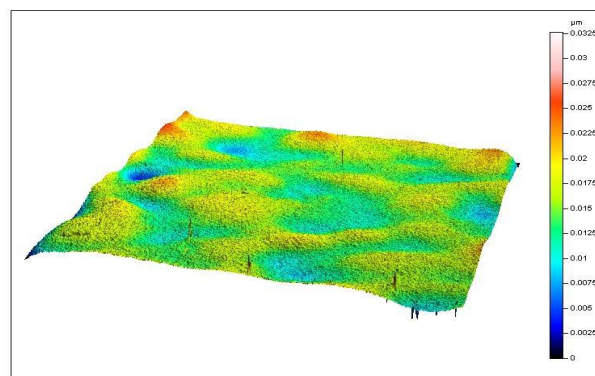
Po przeprowadzeniu zmywania wodą oraz rozpuszczalnikiem nie nastąpiła zmiana połysku, natomiast zmiana barwy na poziomie ok. 0,5 jest na tyle niewielka, że może wynikać choćby z pomiaru prowadzonego w innym miejscu próbki. Należy pamiętać, że ludzkie oko widzi różnicę w kolorze kiedy wartość  $\Delta E$  przyjmuje wartości około 2. Powłoka po myciu nie wykazuje żadnych uszkodzeń mechanicznych, nie zmieniają się również jej właściwości estetyczne i użytkowe.

Badając powierzchnię pod względem skórki pomarańczowej otrzymano zadowalające wyniki (tabela 2). Zakresy od Wa do We to ilościowe zobrazowanie struktury falistej powłoki o określonej wielkości. Im mniejsze wartości tym powierzchnia jest gładzsza. W przedstawionych wynikach parametr DOI przyjmuje wysokie wartości, a ilością fal Wa-Wb na poziomie ok 35-60 jednakże w stosunku do całości występowanie fal krótkich LW jest na poziomie 22,3 co przekłada się to na znikome postrzeganie skórki pomarańczowej na malowanym elemencie. W konsekwencji badana powłoka charakteryzuje się wysokimi walorami estetycznymi.

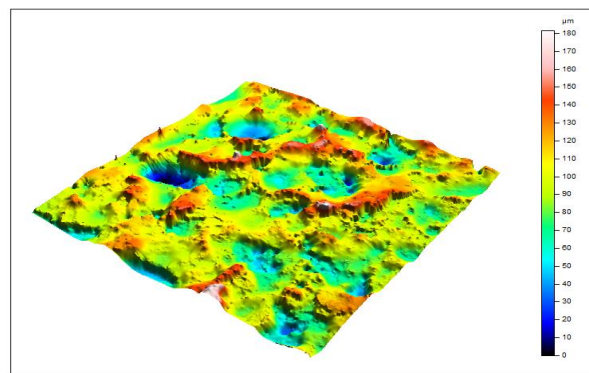
W ostatnim etapie badań odniesiono się do opisu struktury geometrycznej powierzchni (SGP) systemu powłokowego antygraffiti. Struktura geometryczna powierzchni wykazuje znaczny wpływ na wiele procesów występujących w warstwie wierzchniej. Problematyce związanej z metodami pomiarów oraz oceną chropowatości i falistości powierzchni poświęconych jest wiele publikacji [8÷10].

Pomiary struktury geometrycznej powierzchni zostały przeprowadzone w Laboratorium Komputerowych Pomiarów Wielkości Geometrycznych Politechniki Świętokrzyskiej. Badania wykonano przy użyciu profilometru optycznego Talysurf CCI wykorzystujący opatentowany przez firmę Taylor Hobson algorytm korelacji koherencji, umożliwiający pomiar z rozdzielczością w osi z poniżej 0,8 nm. Wynik pomiarów zapisywany jest w macierzy 1024x1024 punktów pomiarowych co przy zastosowanym obiektywie x10 daje mierzony obszar 1,65 mm x 1,65 mm i rozdzielczość poziomą 1,65  $\mu\text{m}$  x 1,65  $\mu\text{m}$ . Wykonano 10 pomiarów na próbce z systemem powłokowym antygraffiti oraz ze stali S355, co pozwoliło na uśrednienie wyników badań.

Trójwymiarowe powierzchnie i ich analiza z wykorzystaniem oprogramowania TalyMap Platinum pozwoliły na precyzyjne poznanie struktury geometrycznej badanych powierzchni.



Rys. 2. Topografia powierzchni systemu powłokowego antygraffiti



Rys. 3. Topografia powierzchni stali S355 po szlifowaniu papierem ściernym

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy obraz topografii powierzchni systemu powłokowego antygraffiti, natomiast rysunek 3 przedstawia obraz topografii stali S355 po szlifowaniu papierem ściernym. W tabeli 5 zestawiono najważniejsze uśrednione parametry SGP badanego systemu powłokowego.

Tabela 2. Uśrednione parametry struktury geometrycznej powierzchni

Parametry SGP	System powłokowy antygraffiti
Sa [ $\mu\text{m}$ ]	0,0024
Sq [ $\mu\text{m}$ ]	0,0032
Ssk	- 0,8719
Sku	5,8153
Sp [ $\mu\text{m}$ ]	0,0180
Sv [ $\mu\text{m}$ ]	0,0146
Sz [ $\mu\text{m}$ ]	0,0326

System powłokowy antygraffiti posiadał wartości średniego arytmetycznego odchylenia chropowatości powierzchni  $Sa=0,0038\pm 0,0018 \mu\text{m}$ . Próbki ze stali S355 po szlifowaniu papierem ściernym o uziarnieniu P80, na które nanoszono powłoki, miały  $Sa=1,2345\pm 1,8632 \mu\text{m}$ . Parametr Sa jest podstawowym parametrem amplitudy do ilościowej oceny stanu analizowanej powierzchni. Podobną tendencję w wynikach pomiaru systemu powłokowego antygraffiti i stali S355 zaobserwowano dla średniokwadratowego odchylenia chropowatości powierzchni Sq. Uzupełniającą informację na temat ukształtowania powierzchni badanych elementów dają parametry amplitudowe: współczynnik skośności - asymetrii Sku oraz współczynnik skupienia - kurtosa Ssk. Parametry te są wrażliwe na występowanie na powierzchni miejscowych wzniesień czy wgłębień, również defektów.

## Podsumowanie

Mówiąc o bezbarwnym lakierze antygraffiti tak naprawdę mówimy o produkcie, który daje możliwość usunięcia niepożądanych kolejnych warstw farby bez uszkodzenia pierwotnej warstwy lakierniczej. Zmniejszona adhezja oznacza, że łatwiej usunąć zanieczyszczenia, które znajdują się na powierzchni konstrukcji, np. kurz, zabrudzenia kwaśnymi lub alkalicznymi osadami czy lakier graffiti, który również należy traktować, jako środek agresywny dla wytworzonej powłoki. Każda substancja, jaka znajdzie się na powierzchni lakieru wpływa na jego strukturę, w większym bądź mniejszym stopniu powodując nieodwracalne zmiany w powłoce, aż do jej całkowitego zniszczenia i odsłonięcia nieodpornego lakieru bazowego. Może doprowadzić to do sytuacji gdzie konieczne będzie dokonanie renowacji przed planowanym terminem, co spowoduje niepotrzebne straty: czas, koszty pracy pracowników, instalacji (wentylatory, ogrzewanie), koszty farby. Zasadnym wydaje się zastosowanie takiego lakieru bezbarwnego, aby możliwie najlepiej zabezpieczyć system przed wpływem czynników zewnętrznych.

## LITERATURA

- Burakowski T., Wierzchoń W., Surface engineering of metals - principle, equipment, technology. CRC Press, Boca Raton - London - New York - Washington D. C., 1999.
- Hryniewicz T., Technologia powierzchni i powłok. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin, 2004.
- Pasiecznyński Ł., Radek N., Development of paint system with improved grain distribution in resin. Rozdział 5 w monografii: Analysis of technology in various industries. Edited by Stanisław Borkowski and Robert Ulewicz, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 51-60, 2014.
- Pasiecznyński Ł., Radek N., Opracowanie systemu lakierniczego o poprawionym rozkładzie ziarna pigmentu metalicznego w żywicy. Spajanie, 2, 34-38, 2014.
- Adamczak S., Makiela W., Analyzing variations in roundness profile parameters during the wavelet decomposition process using the matlab environment. Metrology and Measurement Systems, Vol. XVIII, 1, 25-34, 2011.
- Radziszewski L., The influence of the surface load exerted by a piezoelectric contact sensor on testing results: Part I, The displacement field in the solid. Arch. of Acoustics, 28, 71-91, 2003.
- Radziszewski L., Intrusive effect of a contact transducer on testing results. Metrology and Measurement Systems, Vol. 11, 1, 31-43, 2004.
- Adamczak S., Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistości i chropowatości. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2008.
- Adamczak S., Normalizacja pomiarów struktury geometrycznej powierzchni, Cz. 7, Ocena chropowatości i falistości powierzchni. Mechanik, 5-6, 526-529, 2005.
- Adamczak S., Normalizacja pomiarów struktury geometrycznej powierzchni, Cz. 8, Ocena chropowatości i falistości. Powierzchnie o warstwowych właściwościach funkcjonalnych. Mechanik, 8-9, 690-692, 2005.