

WPLYW STARZENIA KLIMATYCZNEGO NA ADHEZJĘ POWŁOK AKRYLOWYCH

Badano wpływ starzenia klimatycznego na adhezję powłok akrylowych, nałożonych na powierzchnię podłoża stalowego. Uzyskane wyniki ujawniły, że oddziaływanie czynników starzeniowych w okresie dwu lat przyczyniło się do obniżenia adhezji powłok do stalowego podłoża. Wytrzymałość połączenia adhezyjnego (badana metodą odrywową wg PN-EN ISO 4624:2016-05) w przypadku powłoki niestarzonej wynosiła bowiem 8 MPa, zaś w przypadku powłoki starzonej klimatycznie uległa obniżeniu do wartości 4,3 MPa. Oceniając stan niestarzonej powłoki akrylowej po przeprowadzonej próbie odrywania, stwierdzono rozerwanie adhezyjne pomiędzy warstwą kleju a warstwą powierzchniową powłoki akrylowej na obszarze obejmującym 100% powierzchni stempla. Natomiast powłokę starzoną klimatycznie charakteryzowało kohezyjne rozerwanie warstwy podkładowej na obszarze powierzchni stempla wynoszącym 95% oraz adhezyjne oderwanie warstwy kleju od warstwy nawierzchniowej powłoki na obszarze stanowiącym 5% powierzchni stempla.

WSTĘP

Z definicji adhezja (łac. adhaesio – przyleganie), to łączenie się ze sobą powierzchniowych warstw ciał fizycznych lub faz (stałych albo ciekłych). W przypadku powłok polimerowych, nałożonych na powierzchnię elementów (metalowych, drewnianych, syntetycznych) adhezja mierzona jest pracą, jaka jest potrzebna do oderwania powłoki od podłoża. Adhezja (przyczepność) powłoki polimerowej do powierzchni podłoża jest podstawowym kryterium trwałości eksploatacyjnej powłoki lakierniczej, na przykład nadwozia samochodu.

Trwałość połączenia adhezyjnego powłoki z podłożem determinują: skład powłoki (struktura chemiczna tworzywa powłokotwórczego, rodzaj oraz zawartość napelniaczy i pigmentów), stan powierzchni podłoża (rodzaj materiału podłoża, stopień rozwinięcia powierzchni, czystość chemiczna i fizyczna powierzchni podłoża), rodzaj i intensywność narażeń eksploatacyjnych [1÷3, 10, 16÷19, 21].

Zgodnie z literaturą, wyróżnia się następujące rodzaje adhezji powłok polimerowych: mechaniczną, chemiczną, elektrostatyczną. W przypadku powłok metalowych, wytwarzanych metodą wybuchową, występuje również adhezja dyfuzyjna, wynikająca z wnikania materiału powłokowego w powierzchniową warstwę podłoża. Adhezja mechaniczna powłok polimerowych do podłoża uwarunkowana jest zakotwiczeniem farby w mikronierównościach powierzchni podłoża. Im większy jest zatem stopień rozwinięcia profilu chropowatości powierzchni podłoża, tym wytrzymałość połączenia adhezyjnego powłoki z podłożem jest większa. Natomiast adhezja chemiczna powłok polimerowych polega na łączeniu się grup funkcyjnych polimerów powłokotwórczych z „aktywnymi centrami” powierzchni podłoża. Centra te mogą zanikać w wyniku destrukcji zarówno powłoki, jak również podłoża, na przykład w wyniku rozwoju korozji (elektrochemicznej, biologicznej) metalowego podłoża. Adhezja elektrostatyczna jest wynikiem istnienia sił przyciągania między cząsteczkami stykających się ciał. Energia oddziaływań międzycząsteczkowych osiąga wartość od kilkunastu do kilkudziesięciu kJ/mol, i jest 10÷100 razy mniejsza od energii wiązań chemicznych kowalencyjnych. Oddziaływania międzycząsteczkowe zwane są również siłami van der Waalsa, a ich zasięg wynosi 10⁻⁹ m. Stąd tak ważna jest czystość chemiczna i fizyczna powierzchni podłoża, by mogła zaistnieć adhezja elektrostatyczna

między powłoką polimerową a powierzchnią podłoża. Energia oddziaływań międzycząsteczkowych osiąga wartość od kilkunastu do kilkudziesięciu kJ/mol, i jest 10÷100 razy mniejsza od energii kowalencyjnych wiązań chemicznych [10, 17, 21].

Podczas użytkowania powłok polimerowych w naturalnych warunkach eksploatacji oddziałują na nie czynniki klimatyczne (promieniowanie ultrafioletowe i podczerwone, powietrze, wilgoć) oraz środowiskowe (kwaśny deszcz, solanka, cząstki erozyjne, obciążenia mechaniczne, mikroorganizmy, makroorganizmy). Pod wpływem narażeń eksploatacyjnych w powłokach polimerowych powstają różnego typu defekty w postaci: kraterów, porów, pęknięć, pęcherzy [5÷12].

Rozwój procesów destrukcji powłok polimerowych zależy od rodzaju i intensywności narażeń oraz od okresu ich oddziaływania. Na przykład, pod wpływem promieniowania ultrafioletowego, którego źródłem jest promieniowanie słoneczne, powstają na powierzchni powłok pęknięcia srebrzyste. Mają one długość rzędu 10 μm, zaś szerokość 0,1÷1 μm. Pęknięcia te mają kształt trójkątnego rowka, o głębokości 0,1÷0,5 μm, ale występują również pęknięcia, których głębokość sięga kilku nanometrów.

W obszarze pęknięć srebrzystych znajdują się: pory (o różnych rozmiarach - od kilku nm do kilku μm), mikrofibryle (zdeformowane łańcuchy polimerowe), jak również zdefektowane makrocząsteczki. W świetle odbitym mikroskopu optycznego obszary te wywołują charakterystyczne srebrzyste refleksy, od których wywodzi się ich nazwa. Rozwój pęknięć srebrzystych (jak również pękanie pod wpływem czynników środowiska eksploatacji) uwarunkowany jest masą cząsteczkową polimeru powłokotwórczego. Polimery o małej masie cząsteczkowej tworzą małe ilości pęknięć srebrzystych, ale o znacznych rozmiarach. Natomiast polimery o dużej masie cząsteczkowej cechują liczniejsze, lecz „małe” pęknięcia srebrzyste [10, 13, 15].

Pod wpływem oddziaływania UV zachodzą w polimerach reakcje sieciowania międzycząsteczkowego, w wyniku którego zwiększa się średni ciężar cząsteczkowy i gęstość usieciowania struktury polimeru. Stymuluje to wzrost twardości starzonych UV powłok polimerowych. Ponadto, wykazują one zwiększoną kruchość oraz podatność na pękanie i zarysowanie. Tego typu destrukcja powłok polimerowych sprzyja wykuszaniu fragmentów warstw nawierzchniowych. Skutkuje to wzrostem parametrów chropowatości ich powierzchni (Rt,

Rz), co wpływa na utratę własności dekoracyjnych powłok, w wyniku: zmniejszenia ich połysku, blaknięcia koloru oraz pojawiania się miejscowych przebarwień [10].

Co więcej, w niszach mikronierówności znajdują sprzyjające warunki do dynamicznego rozwoju mikroorganizmy (wirusy, bakterie, grzyby pleśniowe). Stymulują one rozwój korozji biologicznej powłok, w efekcie której powstają w nich: wytrawienia, wżery oraz kraterki, sięgające nawet do podłoża [20].

Występowanie w strukturze powłok polimerowych defektów makroskopowych (kraterów, porów, pęknięć) warunkuje powstawanie kapilar, umożliwiających przenikanie mediów agresywnych (kwaśnych deszczów, solanki) do powierzchni podłoża. Media agresywne powodują rozwój na podłożu procesów korozyjnych, a powstające produkty korozji przyczyniają się do zrywania połączeń adhezyjnych powłoki z podłożem, przez co powłoka traci własności barierowe [1÷3, 19].

Zwiększenie efektywności ochronnej powłok polimerowych używanej się w wyniku modyfikacji ich składu za pomocą nanonapełniaczy i nanopigmentów [3÷5, 14].

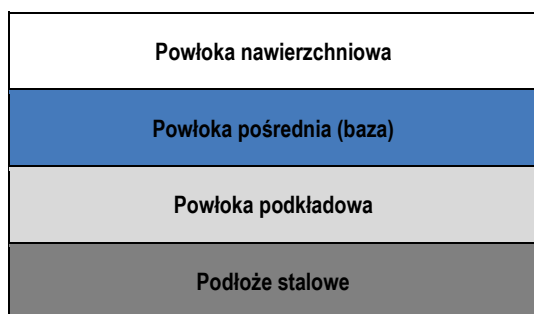
1. METODYKA BADAŃ

1.1. Materiały i przygotowanie próbek do badań

Badaniom poddano systemy powłok akrylowych, które są powszechnie stosowane w zakładach naprawczych, podczas renowacji uszkodzonych powłok ochronno-dekoracyjnych nadwozi samochodowych. Badano próbki powłok naniesionych na powierzchni płytek (o wymiarach 160 x 80 x 2 mm), wyciętych z blachy, wykonanej ze stali konstrukcyjnej uspokojonej S 235 JRG 2 (PN-EN 10025-1:2007). Przed naniesieniem warstwy podkładowej, powierzchnię płytek stalowych czyszczono papierem ściernym (o gradacji P80) a następnie odtłuszczano rozpuszczalnikiem ekstrakcyjnym.

Próbki systemów powłokowych uzyskano nanosząc na powierzchnię płytek stalowych (metodą natrysku pneumatycznego) kolejno trzy rodzaje powłok polimerowych: dwuwarstwową powłokę podkładową, dwuwarstwową powłokę pośrednią – międzywarstwę (tzw. bazę) oraz dwuwarstwową powłokę nawierzchniową. Średnia grubość powłok wynosiła 131±1 µm.

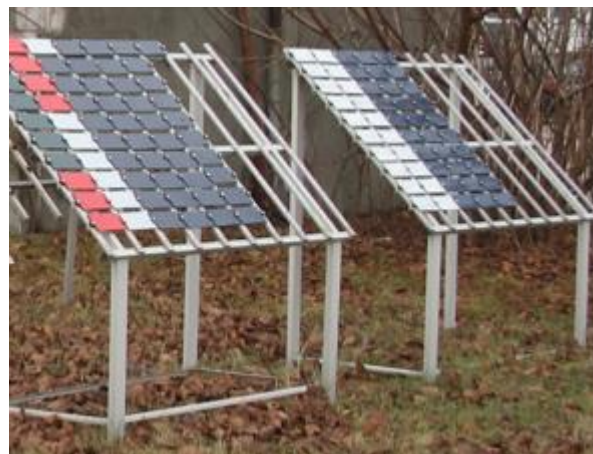
Otrzymane systemy powłokowe aklimatyzowano w ciągu 20 dni, w temperaturze 20±2°C (PN-EN 23270: 1993). Strukturę wykonanych w powyższy sposób systemów powłokowych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Struktura badanych powłok akrylowych

1.2. Warunki starzenia powłok

Powłoki akrylowe starzono przez okres 2 lat w naturalnych warunkach klimatycznych, na stacji klimatycznej Instytutu Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, UTH w Radomiu (rys.1).



Rys. 1. Powłoki akrylowe usytuowane na stojakach na stacji klimatycznej

1.3. Aparatura badawcza i metody badań powłok

W badaniach powłok wykorzystano aparaturę i metody badawcze wymienione w tabeli 1.

Tab. 1. Aparatura badawcza i metody badań powłok akrylowych

Lp.	Metoda badań	Aparatura
1.	Metoda badania grubości powłok (PN-EN ISO 2808:2008)	Czujnik Mega-Check FE firmy List-magnetik
2.	Metoda badania twardości powłok metodą ołówkową (PN-EN ISO 15184:2013-04)	Zestaw ołówek
3.	Metoda badania wytrzymałości połączenia adhezyjnego powłok ze stalowym podłożem	PosiTect AT Digital
4.	Badania mikroskopowe powierzchni powłok	Mikroskop optyczny Studar Lab Met (produkcji Polskich Zakładów Optycznych)
		Skaningowy mikroskop elektronowy (model SU-70 firmy Hitachi) z emisją polową
5.	Badania struktury geometrycznej powierzchni powłok (PN-M-04251:1987, PN-EN ISO 8501-1:2008);	Tester Hommel T500
6.	Metoda badania adhezji powłok akrylowych (PN-EN ISO 4624:2016-05)	Aparat PosiTect AT Digital produkcji DeFelsko Corporation

1.4. Metoda badania wytrzymałości połączenia adhezyjnego powłok akrylowych ze stalowym podłożem

Wytrzymałość połączenia powłoki akrylowej z podłożem stalowym badano metodą odrywową, zgodnie z wytycznymi normy PN-EN ISO 4624:2016-05. Metoda odrywowa polega na przyklejeniu do powierzchni badanej powłoki stempla pomiarowego, do którego następnie (po utwardzeniu kleju) przykładana jest siła, celem oderwania stempla od powłoki. Mające kształt cylindryczny stemple pomiarowe przyklejane są do powierzchni powłoki płaską powierzchnią czółową (o średnicy 20 mm) (rys. 2.1), a ich drugi koniec mocowany jest w uchwycie pneumatycznego urządzenia odrywającego (rys. 2.2).



Rys. 2. Stempel pomiarowy (1) oraz uchwyt stosowany do jego odrywania (2)

Miarą adhezji (przyczepności) powłoki do podłoża jest najmniejsze naprężenie rozciągające, potrzebne do oderwania najsłabszej powierzchni granicznej (oderwanie adhezyjne) lub najsłabszego obszaru badanego systemu powłokowego. Obserwujemy wówczas oderwanie kohezyjne wewnątrz warstw powłoki. Podczas badania mogą wystąpić jednocześnie obydwa rodzaje oderwania. Jako wynik badania podaje się wartość naprężenia rozciągającego oraz rozmiary powierzchni (wyrażone w [%]) dla poszczególnych rodzajów oderwania.

Wytrzymałość połączenia adhezyjnego powłoki z podłożem oblicza się według wzoru (1):

$$\sigma = F/S_s \quad (1)$$

gdzie:

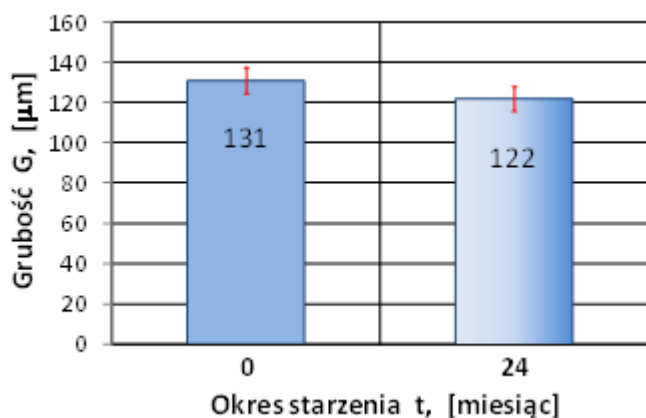
F – siła odrywająca, [N];

S_s – powierzchnia stempla pomiarowego, [m²];

σ – wytrzymałość adhezyjnego połączenia powłoki z podłożem, [Pa].

2. WYNIKI BADAŃ

W wyniku przeprowadzonych badań starzeniowych powłok akrylowych w naturalnych warunkach (w okresie dwóch lat), stwierdzono nieznaczne (poniżej 7%) zmniejszenie ich grubości. Spowodowane to było ubytkiem warstwy nawierzchniowej powłok, na skutek erozyjnego oddziaływania cząstek gradu oraz kropli deszczu (rys. 3).



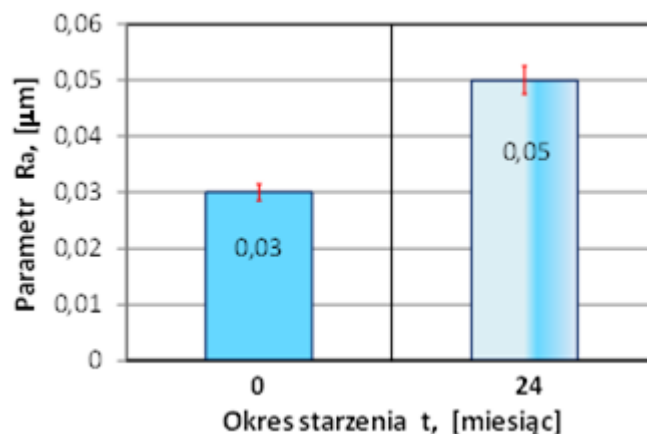
Rys. 3. Średnia wartość grubości powłok akrylowych starzonych klimatycznie w ciągu 24 miesięcy

Przeprowadzone badania stanu powierzchni akrylowych powłok nawierzchniowych udowodniły, że wraz ze wzrostem okresu starzenia pod wpływem czynników klimatycznych (w okresie 24 miesięcy) nastąpiło zwiększenie parametrów chropowatości ich powierzchni (rys. 4 i 5). Na przykład, parametr Ra wzrósł ponad 1,5-krotnie, natomiast parametr Rz ponad 4-krotnie. Spowodowane to było wykruszaniem mikrofragmentów powłok z ich powierzchni, na skutek zmian starzeniowych w strukturze chemicznej tworzywa powłokotwórczego, między innymi, w wyniku utleniania tworzywa akrylowego.

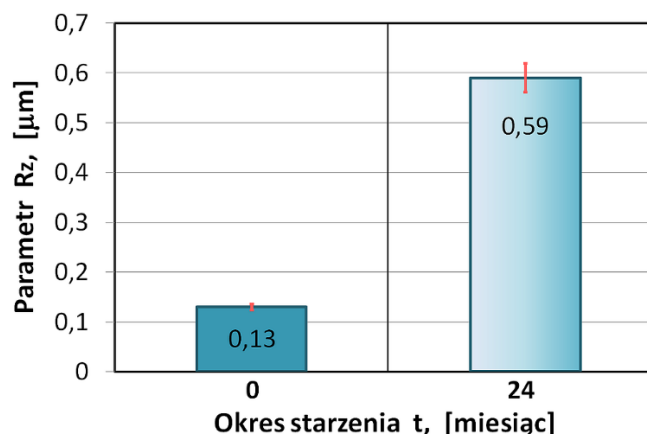
Zgodnie z doniesieniami literaturowymi powłoki o większej chropowatości wykazują zwiększoną podatność na przebarwienia, w wyniku rozwoju w niszach ich mikronierówności mikroorganizmów, które powodują rozwój korozji biologicznej [20].

Starzenie powłok akrylowych skutkowało zwiększeniem ich twardości ołówkowej od wartości 3H, w przypadku powłoki niestarzonej, do wartości 5H, w przypadku powłoki starzonej klimatycznie w okresie 24 miesięcy (rys.6). Tłumaczy to fakt wzrostu kruchości starzonej powłoki nawierzchniowej.

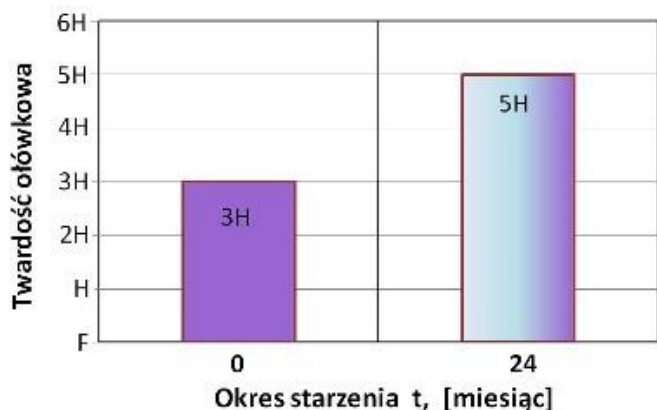
Morfologię powierzchni powłoki akrylowej niestarzonej przedstawiono na rysunku 7. Natomiast morfologię powierzchni powłoki starzonej w okresie 24 miesięcy na stacji klimatycznej zawarto na rysunku 8. Na powierzchni powłok starzonych pod wpływem czynników klimatycznych zaobserwowano powstawanie kraterów i wytrawień.



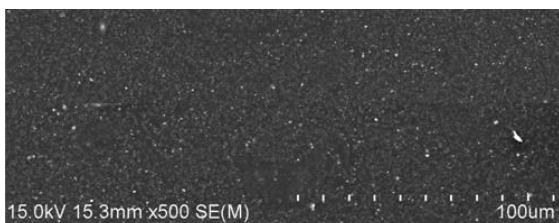
Rys. 4. Średnia wartość parametru Ra chropowatości powierzchni powłok akrylowych starzonych klimatycznie w ciągu 24 miesięcy



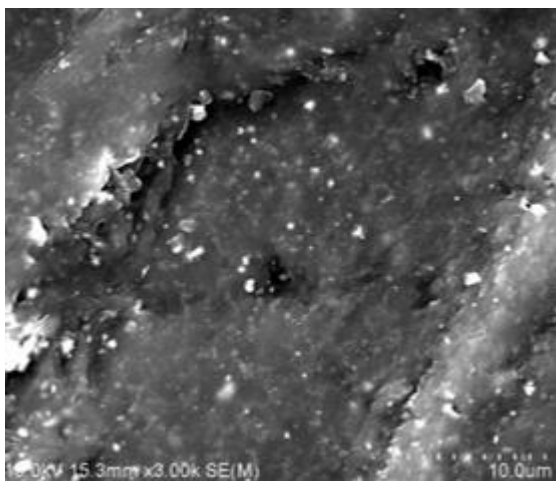
Rys. 5. Średnia wartość parametru Rz chropowatości powierzchni powłok akrylowych starzonych klimatycznie w ciągu 24 miesięcy



Rys. 6. Twardość ołówkowa próbek niestarzonych i starzonych klimatycznie w ciągu 24 miesięcy



Rys. 7. Morfologia powierzchni powłoki niestarzonej (SEM)



Rys. 8. Morfologia powierzchni powłoki starzonej klimatycznie w ciągu 24 miesięcy (SEM)

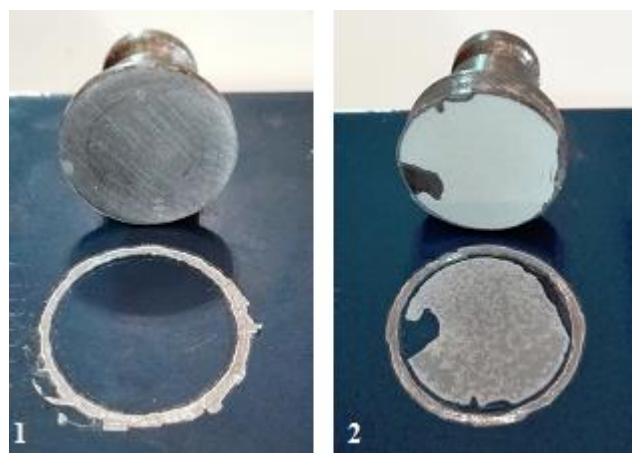
Analiza wyników badań adhezji powłok akrylowych

W tabeli 2. zawarto wyniki badań wytrzymałości połączenia adhezyjnego powłoka akrylowa-podłoże stalowe (wg PN-EN ISO 4624:2016-05).

Wytrzymałość połączenia adhezyjnego w przypadku powłoki niestarzonej wynosiła 8 MPa, zaś w przypadku powłoki starzonej klimatycznie uległa obniżeniu do wartości 4,3 MPa.

Oceniając stan niestarzonej powłoki akrylowej po przeprowadzonej próbie odrywania, stwierdzono oderwanie adhezyjne warstwy kleju od powierzchni warstwy nawierzchniowej na obszarze obejmującym 100% powierzchni stempla (rys. 9).

Natomiast powłokę starzoną klimatycznie w okresie 24 miesięcy charakteryzowało kohezyjne rozerwanie w warstwie podkładowej na obszarze powierzchni stempla wynoszącym 95% oraz adhezyjne oderwanie warstwy kleju od powierzchni warstwy nawierzchniowej na obszarze 5% (rys. 9).



Rys. 9. Obrazy powierzchni powłok oraz stempla po wykonanej próbie oderwania stempla od powłoki (wg PN-EN ISO 4624:2016-05):

- 1 – powłoka niestarzona,
- 2 – powłoka starzona klimatycznie w okresie 24 miesięcy

Tab. 2. Opis rodzaju oderwania stempla od powłoki (wg PN-EN ISO 4624:2016-05)

Okres starzenia [miesiąc]	Rodzaj oderwania stempla od powłoki	Powierzchnia oderwania [%]	Wytrzymałość połączenia adhezyjnego [MPa]
0	Oderwanie adhezyjne warstwy kleju od powierzchni warstwy nawierzchniowej	100	8
24	Rozerwanie kohezyjne w warstwie podkładowej	95	4,3
	Oderwanie adhezyjne warstwy kleju od powierzchni warstwy nawierzchniowej.	5	

PODSUMOWANIE

W wyniku przeprowadzonych badań starzeniowych powłok akrylowych w warunkach naturalnych (w okresie dwu lat), stwierdzono nieznaczne (poniżej 7%) zmniejszenie ich grubości. Spowodowane to było erozyjnym ubytkiem warstwy nawierzchniowej powłok, na skutek erozyjnego oddziaływania cząstek gradu oraz kropli deszczu. Obserwowano również destrukcję powierzchni akrylowych powłok nawierzchniowych, w postaci kraterów oraz równolegle ułożonych wytrawień, którymi prawdopodobnie są obszary pęknięć srebrzystych.

Starzenie przyczyniło się do zwiększenia chropowatości powierzchni powłok. Na przykład, parametr Ra wzrósł ponad 1,5 krotnie, natomiast parametr Rz ponad 4-krotnie. Przyczyną wzrostu chropowatości powierzchni było wykruszanie mikrofragmentów z warstwy nawierzchniowej powłok, na skutek zmian starzeniowych (np. w wyniku utleniania) w strukturze chemicznej tworzywa powłokotwórczego.

Uległa także zwiększeniu twardość (ołówkowa) powłok, od wartości 3H w przypadku powłoki niestarzonej do wartości 5H w przypadku powłoki starzonej, co również wpłynęło na podwyższenie kruchości powłok.

Oddziaływanie czynników starzeniowych przyczyniło się do obniżenia adhezji powłok do stalowego podłoża. Wytrzymałość połączenia adhezyjnego, w przypadku powłoki starzonej klimatycznie, uległa bowiem obniżeniu do wartości 4,3 MPa, od początkowej wartości 8 MPa dla powłoki niestarzonej.

Oceniając stan niestarzonej powłoki akrylowej po przeprowadzonej próbie odrywania, stwierdzono rozerwanie adhezyjne warstwy

kleju od powierzchni warstwy nawierzchniowej, na obszarze obejmującym 100% powierzchni stempla. Natomiast powłokę starzoną klimatycznie w okresie dwu lat charakteryzowało kohezyjne rozerwanie w warstwie podkładowej na obszarze powierzchni stempla wynoszącym 95% oraz adhezyjne oderwanie warstwy kleju od powierzchni warstwy nawierzchniowej na obszarze stanowiącym 5%.

BIBLIOGRAFIA

1. Fedorov A.V., Tijum R., Vellinga W.-P., Hosson J.Th.M., Degradation and recovery of adhesion properties of deformed metal-polymer interfaces studied by laser induced delamination. *Progress in Organic Coatings* 2007, vol. 58, p. 180÷186.
2. Fu S.-Y., Feng X.-Q., Lauke B., Mai Y.-W., Effects of particle size, particle matrix interface adhesion and particle loading on mechanical properties. *Composites* 2008, Part B 39, p. 933÷961.
3. Khun N.W., Rincon Troconis B.C., Frankel G.S.: Effects of carbon nanotube content on adhesion strength and wear and corrosion resistance of epoxy composite coatings on AA2024-T3. *Progress in Organic Coatings* 2011, vol. 74, p. 192÷203.
4. Bauer F., Decker U., Czihal K., Mehnert R., Riedel C., Riemschneider M., Schubert R., Buchmeiser M. R., UV curing and matting of acrylate nanocomposite coatings by 172 nm excimer irradiation, "Progress in Organic Coatings", volume 64, issue 4, March 2009, p. 474÷481.
5. Bauer F., Decker U., Naumov S., Riedel C., Photoinitiator-free UV curing and matting of acrylate-based nanocomposite coatings: Part 3, "Progress in Organic Coatings", Volume 77, Issue 6, June 2014, p. 1085÷1094.
6. Kotlík P., Doubravová K., Horálek J., Kubáč L., Akroma J., Acrylic copolymer coatings for protection against UV rays, "Journal of Cultural Heritage" 2014, vol. 15, p. 44÷48.
7. Kotnarowska D., Influence of ultraviolet radiation and aggressive media on epoxy coating degradation, "Progress in Organic Coatings 1999", vol. 37, p. 149÷159.
8. Kotnarowska D., Influence of Ultraviolet Radiation on Erosive Resistance of Modified Epoxy Coatings. "Solid State Phenomena" 2006, vol. 113 (Mechatronic Systems and Materials), p. 585÷588.
9. Kotnarowska D., Epoxy coating destruction as a result of sulphuric acid aqueous solution action, "Progress in Organic Coatings" 2010, vol. 67, p. 324÷328.
10. Kotnarowska D., Destrukcja powłok polimerowych pod wpływem czynników eksploatacyjnych. Wydawnictwo Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu, Radom 2013.
11. Kotnarowska D.: Destruction of Epoxy Coatings Under the Influence of Climatic Factors. *Solid State Phenomena* 2013, Pt. B of Diffusion and Defect Data - Solid State Data, vol. 199, p. 581÷586.
12. Kotnarowska D., Bryła N., Stanisławek D., Wpływ starzenia klimatycznego na stan powierzchni nanopowłok epoksydowych, „Autobusy” 2016 nr 12, s. 1058÷1062 (CD).
13. Kotnarowska D., Sirak M., Ocena wpływu starzenia promieniowaniem UV na destrukcję ochronno- dekoracyjnych powłok nadwozi samochodowych. *Autobusy* 2016 nr 12, s. 1063÷1068 (plyta CD).
14. Kotnarowska D., Witek N., Wpływ oddziaływania czynników środowiska na starzenie nanopowłok epoksydowych, „Autobusy” 2017 nr 12, s. 983÷987 (CD).
15. Narisava I., Resistance of polymer materials, Ed. Chemistry, Moscow 1987 (in Russian).
16. Negel O., Funke W., Internal stress and wet adhesion of organic coatings. *Progress in Organic Coatings* 1996, vol. 28, p. 285÷289.
17. Soer W.J., Ming W., Koning C.E., Benthem R.A.T.M., Mol J.M.C., Terryn H., Barrier and adhesion properties of anti-corrosion coatings based on surfactant-free latexes from anhydride-containing polymers. *Progress in Organic Coatings* 2009, vol. 65, p. 94÷103.
18. Vayeda R., Wang J., Adhesion of coatings to sheet metal under plastic deformation. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 2007, vol. 27, p. 480÷492.
19. Zubielewicz M., Królikowska A., The influence of ageing of epoxy coatings on adhesion of polyurethane topcoats and protective properties of coating systems. *Progress in Organic Coatings* 2009, vol. 66, p. 129÷136.
20. Zyska B., Żakowska Z., *Mikrobiologia materiałów*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2005.
21. Żenkiewicz M., *Adhezja i modyfikowanie warstwy wierzchniej tworzyw wielkocząsteczkowych*, WNT, Warszawa 2000.

Influence of climatic ageing on acrylic coatings adhesion

Investigations were carried out of climatic ageing influence on acrylic coatings adhesion to the steel substrate. Obtained results showed that ageing factors action for two years contributed to the decrease of coatings adhesion to steel substrate. Pull-off adhesion strength (examined according to PN-EN ISO 4624:2016-05) was 8 MPa in the case of unaged coating whereas, in the case of coating aged climatically, decreased to 4,3 MPa. Evaluation of unaged coating state after pull-off test revealed adhesive break between the bond layer and the acrylic coating surface on the whole area of the stamp surface. However, in the case of the climatically aged coating, the cohesive break occurred in the primer layer on the 95% area of stamp surface and the cohesive break between the bond layer and the coating surface on the 5% area of the stamp surface.

Autorzy:

Prof. dr hab. inż. **Danuta Kotnarowska**, profesor zwyczajny, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, tel: +4848361-76-42, E-mail: d.kotnarowska@pr.radom.pl
mgr inż. **Dariusz Stanisławek** – doktorant, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Mechaniczny

JEL: L97 DOI: 10.24136/atest.2018.124

Data zgłoszenia: 2018.05.23 Data akceptacji: 2018.06.15