

KOTNAROWSKA Danuta

WPLYW MEDIÓW AGRESYWNYCH NA DESTRUKCJĘ EPOKSYDOWYCH POWŁOK OCHRONNYCH OBIEKTÓW TECHNICZNYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono niekonwencjonalne badania destrukcji powłok epoksydowych, starzonych mediami agresywnymi, w postaci wodnych 5% roztworów: chlorku sodu, kwasu siarkowego, wodorotlenku potasu. Pod wpływem starzenia tymi mediami obserwowano pękanie powłok oraz istotne zwiększenie chropowatości ich powierzchni. Ponadto w przypadku oddziaływania wodnego roztworu kwasu siarkowego stwierdzono zwiększenie falistości powłok, spowodowane ich pęcherzeniem. Destrukcję powłok badano za pomocą mikroskopii elektronowej oraz optycznej. Kinetykę starzenia powłok analizowano na podstawie charakterystyk, uzyskanych z zastosowaniem dynamiczno-mechanicznej analizy termicznej (DMA), jak również z użyciem spektroskopii w podczerwieni (FTIR). Do oceny zmian topografii powierzchni powłok (falistości i chropowatości) posłużyły badania profilometryczne.

WSTĘP

Jednymi z groźniejszych czynników, powodujących destrukcję fizyczną oraz chemiczną powłok polimerowych, są media agresywne, stanowiące wodne roztwory: zasad, kwasów lub soli. Destrukcja chemiczna powłok zachodzi w wyniku: ługowania, hydrolizy, bądź utleniania tworzywa polimerowego. Natomiast destrukcja fizyczna powłok polega na ich: pękaniu, łuszczeniu, delaminacji oraz pęcherzeniu. Destrukcja fizyczna oraz chemiczna powłok polimerowych przyczynia się do pogorszenia ich własności ochronnych i dekoracyjnych (w postaci zmiany barwy i utraty połysku) [7, 15÷17].

Na ogół pierwszym etapem procesu destrukcji powłok polimerowych, pod wpływem mediów agresywnych, jest powstawanie w ich strukturze ścieżek przewodzących (kapilar). Umożliwiają one bezpośredni dostęp jonom (z otaczającego środowiska) do powierzchni metalowego podłoża. Przyczyną powstawania ścieżek przewodzących w powłoce polimerowej, poddanej oddziaływaniu mediów agresywnych, jest gromadzenie się wody w obszarach hydrofilowych, które łącząc się ze sobą tworzą kapilary. Obszary hydrofilowe w powłokach polimerowych charakteryzują się małą masą cząsteczkową i niskim stopniem usieciowania. Wykazują również wysoką podatność na hydrolizę i rozpuszczanie.

Proces rozwoju kapilar przyspiesza występowanie w powłoce makroskopowych defektów w postaci: pęknięć, kraterów, porów, a także szczelin (powstających między powierzchnią cząstek napełniaczy i pigmentów a żywicą powłokotwórczą) [9, 20, 22]. Ścieżki przewodzące zwiększają swoje rozmiary w miarę wydłużania okresu starzenia powłok [25].

Szybkość dyfuzji mediów agresywnych w powłokach polimerowych zmniejsza się, wraz ze wzrostem liczby ich warstw. Należy zatem stosować wielowarstwowe systemy powłokowe celem zabezpieczania powierzchni obiektów technicznych, przed destrukcyjnym

oddziaływaniem środowiska eksploatacji. Związane jest to z faktem, że istnieje małe prawdopodobieństwo stykania się obszarów hydrofilowych w poszczególnych warstwach powłok. Kapilary utworzone w tego typu powłokach mają skomplikowany kształt, co wydłuża drogę oraz okres dyfuzji medium do metalowego podłoża i zmniejsza tym samym szybkość transportu jonów do jego powierzchni. W efekcie wpływa to na opóźnienie zachodzących w nim procesów korozyjnych, w wyniku powstawania miejscowych ogniw korozyjnych [11].

W obszarach metalowego podłoża, gdzie brak jest jego kontaktu z powłoką polimerową rozwijają się obszary anodowe (u podstawy ścieżek). W wyniku reakcji korozyjnych, na przykład stalowego podłoża, na powierzchni podłoża w tych obszarach powstają elektrony oraz jony żelaza (Fe^{++}), a w następstwie procesów utleniania i hydrolizy tworzą się produkty korozji (rdza). Obszary katodowe natomiast generowane są pod powłoką polimerową – na obrzeżach defektów. Główną reakcją korozyjną w tym przypadku jest redukcja tlenu, bowiem każdy elektron, wytworzony w reakcjach anodowych, zużywany jest w reakcjach katodowych. Istnieje, zatem, silne sprzężenie elektrochemiczne między defektem, stanowiącym anodę, a obszarami katodowymi, znajdującymi się pod powłoką. Obszary pod powłoką, w których zachodzą reakcje katodowe, spełniają rolę miejsc inicjujących procesy delaminacji powłoki oraz jej pęcherzenie [18÷20, 22]. Procesy katodowe prowadzą do utraty adhezji powłoki polimerowej do metalowego podłoża, ponieważ w miejscach o charakterze katodowym gromadzą się produkty jego korozji [4, 26].

Podczas starzenia tworzyw polimerowych zachodzą przede wszystkim reakcje utleniania, które charakteryzują się powstawaniem grup karbonylowych (CO). Wykrywanie tych grup za pomocą spektrofotometrii absorpcyjnej w podczerwieni jest dla wielu polimerów bardzo proste. Wynika to z faktu, że drgania walencyjne grup karbonylowych, wyzwalają pasmo o wysokim współczynniku absorpcji. Pojawienie się grup karbonylowych jest często pierwszym dowodem starzenia polimerów i widma w podczerwieni umożliwiają ich wykrywanie [5, 9, 12, 24].

Kompleksowa ocena kinetyki starzenia powłok polimerowych pod wpływem czynników eksploatacyjnych (w tym mediów agresywnych) wymaga prowadzenia badań niekonwencjonalnych, na przykład, z użyciem dynamiczno-mechanicznej analizy termicznej (DMA) oraz z zastosowaniem spektroskopii w podczerwieni (FTIR). Ponadto powinny być prowadzone badania destrukcji powierzchni powłok metodą profilometryczną, jak również za pomocą mikroskopii elektronowej. Wyniki tych badań pozwalają nie tylko na jakościową, ale również ilościową ocenę zmian starzeniowych w strukturze powłok, determinujących ich własności ochronno-dekoracyjne [15].

1. METODYKA BADAŃ

1.1. Materiały i przygotowanie próbek powłok epoksydowych

Materiał powłokowy otrzymano w wyniku zmieszania farby epoksydowej z utwardzaczem poliaminoamidowym, o udziale masowym około 30%. Powłoki epoksydowe nałożono metodą natrysku pneumatycznego na podłoże stalowe (ze stali 235 JRG) lub pozorne, którym była folia poliestrowa (PN-79/C-81514). Powierzchnię próbek stalowych przed naniesieniem powłok przygotowano metodą obróbki hydrościernej, a następnie odtłuszczono spirytusem etylowym.

Powłoki utwardzono w dwu etapach: w temperaturze 20°C w ciągu 24 h, a następnie 0,5 h w temperaturze 120°C. Aklimatyzowano je potem przez 10 dni, w temperaturze 20 ± 2°C, przy wilgotności względnej powietrza 65 ± 5% (zgodnie z PN-EN 23270: 1993). Przed rozpoczęciem badań starzeniowych, powłoki epoksydowe oddzielono od podłoża

pozornego. Powłoki swobodne (bez podłoża) niestarzone i starzone badane były metodą dynamiczno-mechanicznej analizy termicznej (DMA).

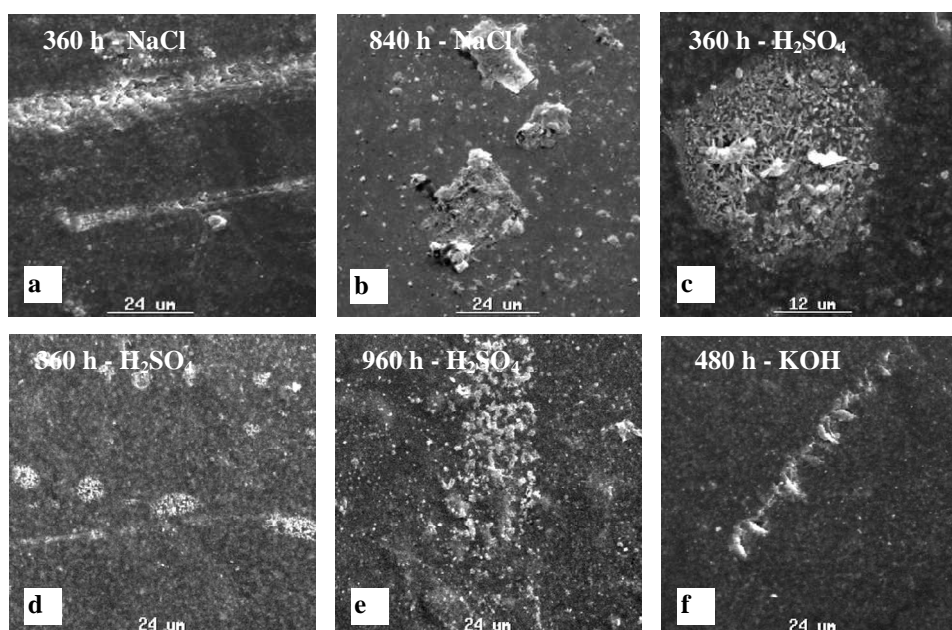
Badano trójwarstwowe powłoki epoksydowe o średniej grubości 120 μm . Przed przystąpieniem do badań starzeniowych oraz po założonych okresach starzenia powłok, dokonywano pomiaru ich: grubości (wg PN-EN ISO 2808:2000), twardości (wg Buchholtza, PN-EN ISO 2815: 2000) oraz chropowatości powierzchni powłok (wg PN-87/M 042251, PN-ISO 8501-1: 1996, PN-ISO 8501-1/Ad 1: 1998).

1.2. Metodyka badań starzeniowych powłok epoksydowych

Próbki powłok epoksydowych przygotowano zgodnie z zaleceniami normy PN-EN ISO 1513:1999. Badania starzeniowe powłok pod wpływem mediów agresywnych przeprowadzono poprzez zanurzenie ich, według zaleceń norm: PN EN ISO 2812-1:2001, PN EN ISO 2812-2:2000. Media agresywne stanowiły wodne 5% roztwory: chlorku sodu, kwasu siarkowego, wodorotlenku potasu. Temperatura otoczenia wynosiła 20°C. Maksymalny okres badań starzeniowych stanowił 1008 godzin.

2. WYNIKI BADAŃ

Badania powierzchni powłok epoksydowych, wykonano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego. Uzyskane zdjęcia (rys. 1) morfologii powierzchni powłok, poddanych oddziaływaniu mediów agresywnych w postaci wodnego 5% roztworu: chlorku sodu (a, b), kwasu siarkowego (c, d, e), wodorotlenku potasu (f), dokumentują różnego typu destrukcję. Powłoki pod wpływem tych mediów wykazywały skłonność do pęknięcia (rys. 1 a, b, d, f), natomiast powłoki starzone wodnym 5% roztworem kwasu siarkowego charakteryzowała ponadto podatność do pęcherzenia (rys. 1 c, d, e) [8, 14].



Rys. 1. Destrukcja powłok epoksydowych poddanych starzeniu pod wpływem: wodnego 5% roztworu: chlorku sodu (a, b), kwasu siarkowego (c, d, e), wodorotlenku potasu (f)

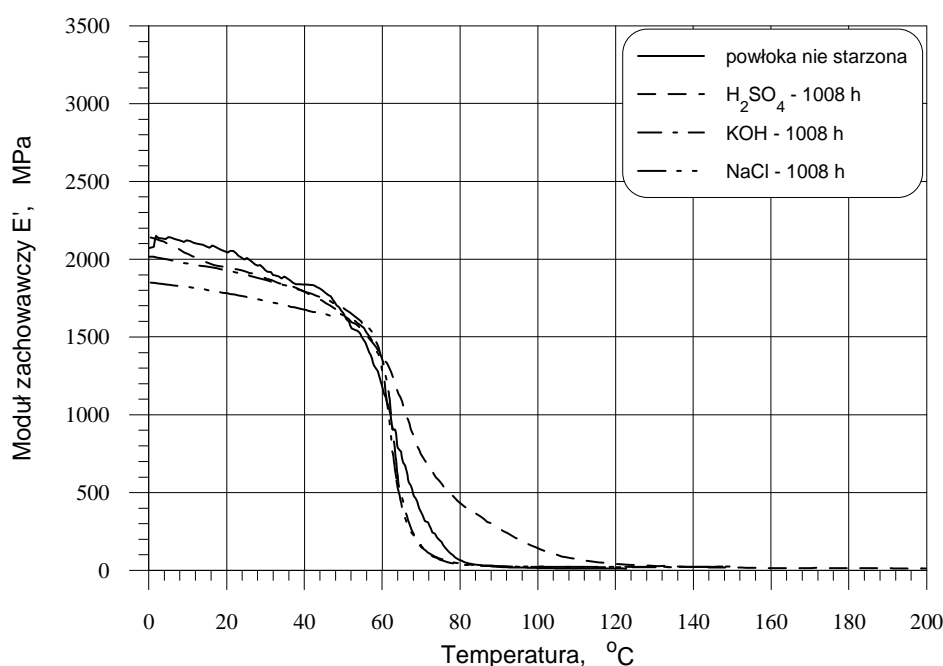
Źródło – badania własne

Oceny wytrzymałości dynamicznej (własności reologicznych) powłok epoksydowych dokonano za pomocą urządzenia PL-DMTA (Dynamic Mechanical Thermal Analyser) MkII firmy Polymer Laboratories. W badaniach tych próbki powłoki epoksydowej w postaci folii,

poddano wstępnemu statycznemu rozciąganiu przy naprężeniu 3,0 MPa, a następnie sinusoidalnym cyklem rozciągania o częstotliwości 1 Hz. Amplituda odkształceń wynosiła 16 μm . Powłokę badano w przedziale temperatury $T = (0\div 200)^\circ\text{C}$, przy czym szybkość ogrzewania wynosiła $3^\circ\text{C}/\text{min}$.

Badania metodą dynamiczno-mechanicznej analizy termicznej (DMA), zastosowane do oceny kinetyki destrukcji powłok starzonych mediami agresywnymi, wykazały istotny wpływ rodzaju i długości okresu starzenia na przebieg charakterystyki $\text{tg } \delta = f(T)$ oraz charakterystyki modułu zachowawczego $E' = f(T)$ (rys. 2 i 3).

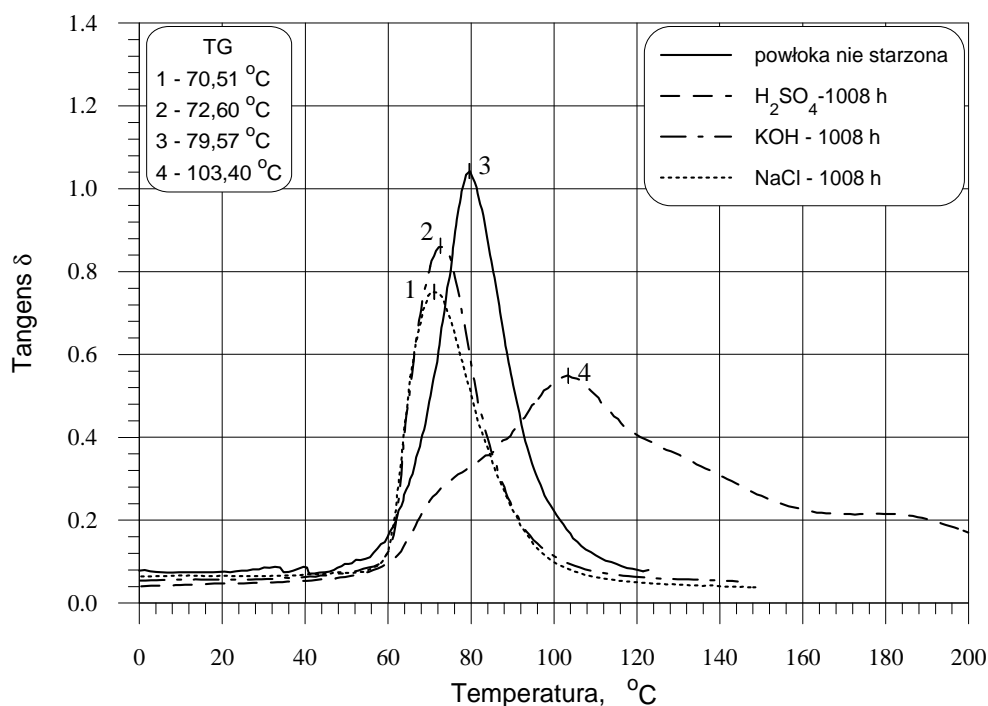
Dynamiczny moduł sprężystości (moduł zachowawczy) E' (rys. 2) wyraża energię potencjalną, zgromadzoną podczas cyklu odkształcania przez materiały idealnie sprężyste. Natomiast $\text{tg } \delta$ (tangens kąta przesunięcia fazowego δ) odpowiada wartości stosunku dynamicznego modułu lepkości (modułu stratności) E'' do modułu E' (rys. 3), gdzie moduł E'' stanowi energię rozproszoną w postaci ciepła, przez materiały idealnie lepkie podczas ich deformacji.



Rys. 2. Wpływ starzenia powłok epoksydowych mediami agresywnymi (wodnymi 5% roztworami: NaCl - chlorku sodu, H_2SO_4 - kwasu siarkowego, KOH - wodorotlenku potasu) na wartość modułu zachowawczego E' , dla powłok starzonych w ciągu 1008 h

Źródło: badania własne [9]

Dla powłoki epoksydowej, poddanej oddziaływaniu wodnego 5% roztworu kwasu siarkowego stwierdzono zwiększenie temperatury zeszklenia T_g (w porównaniu z powłoką niestarzoną oraz zwiększenie wartości modułu E' w przedziale temperatury $103,4^\circ\text{C} < T < 120^\circ\text{C}$ (powyżej T_g dla powłoki starzonej) (rys. 2 i 3). Świadczy to o wzroście gęstości usieciowania tworzywa epoksydowego, ponieważ moduł sprężystości E' ma wyższą wartość w polimerach o większej gęstości usieciowania [10, 23]. Zwiększenie gęstości usieciowania przyczynia się do powstawania w strukturze powłoki naprężeń, skutkujących jej pękaniem oraz pęcherzeniem [2, 17, 18].



Rys. 3. Wpływ starzenia powłok epoksydowych mediami agresywnymi (wodnymi 5% roztworami: chlorku sodu, kwasu siarkowego, wodorotlenku potasu) na wartość tangensa kąta przesunięcia fazowego (tg δ), dla powłok starzonych w ciągu 1008 h

Źródło: badania własne [9]

Podczas badań DMA ulegały zerwaniu powłoki niestarzone oraz starzone pod wpływem wodnych 5% roztworów chlorku sodu lub wodorotlenku potasu w krótkim okresie czasu (w ciągu 240 h i 360 h). Zrywania nie obserwowano dla powłok starzonych tymi mediami w dłuższym okresie (w ciągu 744 h i 1008 h). Ponadto zauważono stabilizację wydłużenia bezwzględnej powłoki w zakresie temperatury powyżej 120°C.

Natomiast w przypadku starzenia wodnym 5% roztworem kwasem siarkowego nie obserwowano zrywania powłok w całym okresie badań starzeniowych, zaś ich wydłużenie bezwzględne ulegało zwiększaniu wraz ze wzrostem temperatury badań oraz w miarę upływu okresu starzenia.

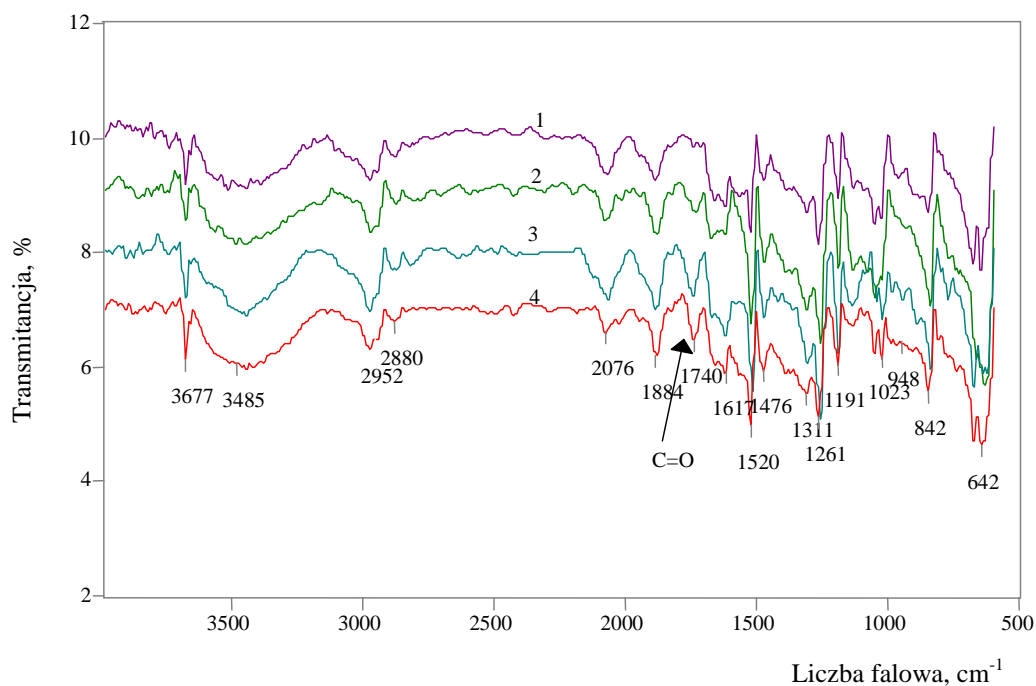
Do badań zmian w strukturze chemicznej powierzchniowej warstwy powłoki epoksydowej zastosowano mikrospektrofotometr I-SeriesTM (produkcji amerykańskiej firmy Perkin Elmer). Kinetykę procesu starzenia powłok epoksydowych oceniano na podstawie widm FTIR, uzyskanych jako średnie z 35 pomiarów (rys. 4) [8, 9].

Postępujące, wraz z upływem okresu starzenia, zmiany w strukturze chemicznej tworzywa epoksydowego obserwowano w zakresie pasma 1800÷1392 cm^{-1} . Produktom utleniania odpowiada zawarte w tym przedziale pasmo 1800÷1552 cm^{-1} , w którym wykryto istnienie pasma grup karbonylowych (CO). Na przykład, dla powłok epoksydowych starzonych pod wpływem wodnego 5% roztworu wodorotlenku potasu, stwierdzono istotny wzrost intensywności grup karbonylowych w paśmie 1807÷1700 cm^{-1} – z maksimum w punkcie 1740 cm^{-1} (rys. 4) [9]. Przedstawiona na rysunku 4. transmitancja wskazuje, jaka część promieniowania padającego została przepuszczona przez badaną powłokę epoksydową.

Do oceny stopnia zatarzenia powierzchni powłok epoksydowych pod wpływem mediów agresywnych posłużyły rozkłady absorbancji totalnej, uzyskane w badaniach FTIR. Absorbancja totalna jest przestrzennym wykresem absorpcji promieniowania podczerwonego, odniesionej do powierzchni badanej powłoki epoksydowej – dla danego okresu starzenia.

Na osiach (x, y) przedstawiono szerokość i długość (μm) badanego obszaru próbki powłoki epoksydowej, zaś na osi z zaznaczono wartości absorbancji (A, [%]) promieniowania podczerwonego (rys. 5).

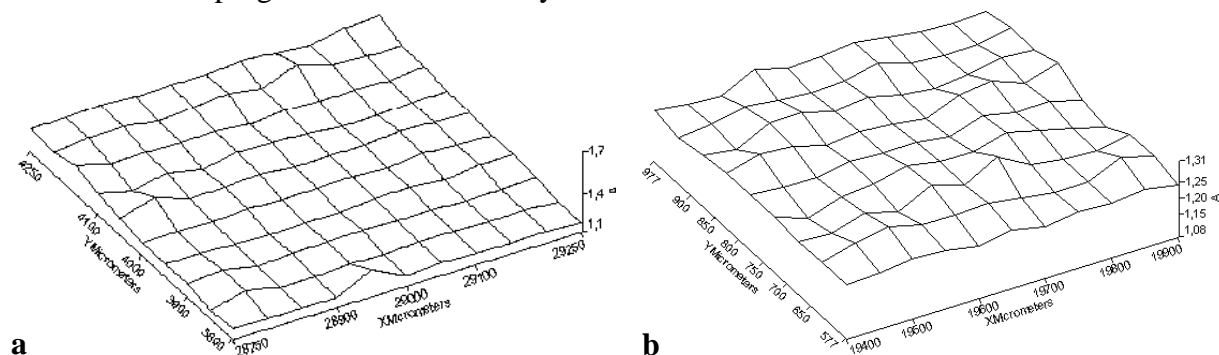
Z analizy charakterystyk absorbancji totalnej wynika, że w miarę upływu okresu starzenia powłok epoksydowych rośnie absorpcja promieniowania podczerwonego, będąca skutkiem rozwoju procesów starzeniowych tworzywa epoksydowego w warstwie wierzchniej powłok (rys. 5).



Rys. 4. Widma FTIR powłoki epoksydowej starzonej wodnym 5% roztworem wodorotlenku potasu w ciągu: 0 h – charakterystyka (1), 240 h – (2), 360 h – (3), 1008 h – (4)

Źródło: badania własne [9]

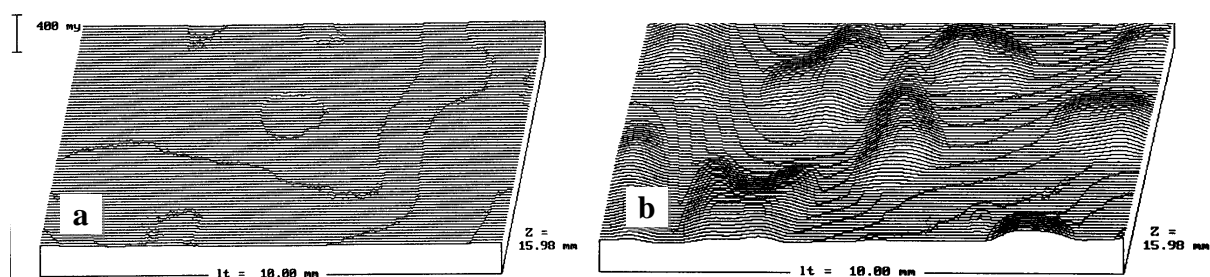
Badania absorbancji totalnej polegały na rejestrowaniu poziomu absorpcji promieniowania podczerwonego (widm FTIR) z wybranego obszaru próbki powłoki, „krok po kroku” z powierzchni kwadratów o boku $50 \mu\text{m}$. Widma FTIR analizowano z zastosowaniem programu IMAGE – firmy Perkin Elmer.



Rys. 5. Absorbancja totalna powłoki epoksydowej niestarzonej (a) oraz starzonej wodnym 5% roztworem chlorku sodu w ciągu 1008 h (b)

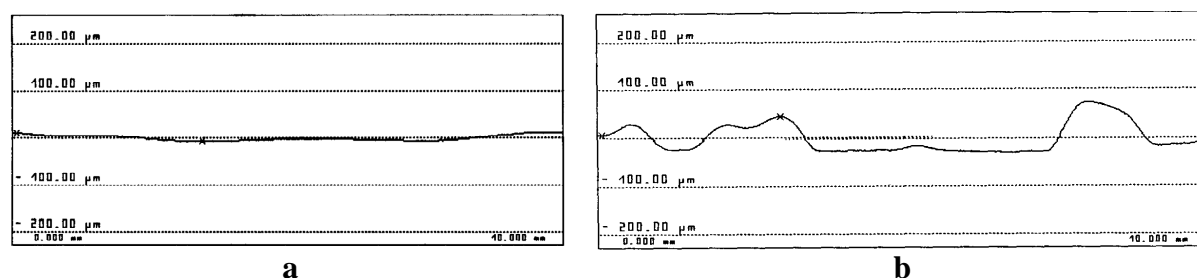
Źródło: badania własne [9]

Starzenie wodnym 5% roztworem kwasu siarkowego spowodowało silne pęcherzenie powłok, co wpłynęło na zmianę topografii ich powierzchni (rys. 6 ÷ 9) [8, 14]. Badania topografii (falistości i chropowatości) powierzchni powłok epoksydowych wykonano za pomocą profilometru Hommel T 2000 (produkcji niemieckiej firmy Hommelwerke). Z zaprezentowanych obrazów topografii powierzchni oraz profilów jej chropowatości wynika, że starzenie powłok wodnym 5% roztworem kwasu siarkowego przyczynia się do znacznego zwiększenia chropowatości oraz falistości ich powierzchni (rys. 7). Maksymalna wartość falistości wzrosła od 1,9 μm – dla powłoki niestarzonej, do 83 μm – dla powłoki starzonej w ciągu 744 h. Natomiast parametr chropowatości Ra zmienił się, od wartości 0,02 μm - dla powłoki niestarzonej do 0,11 μm – dla powłoki starzonej wodnym 5% roztworem kwasu siarkowego w ciągu 1008 h (rys. 8).



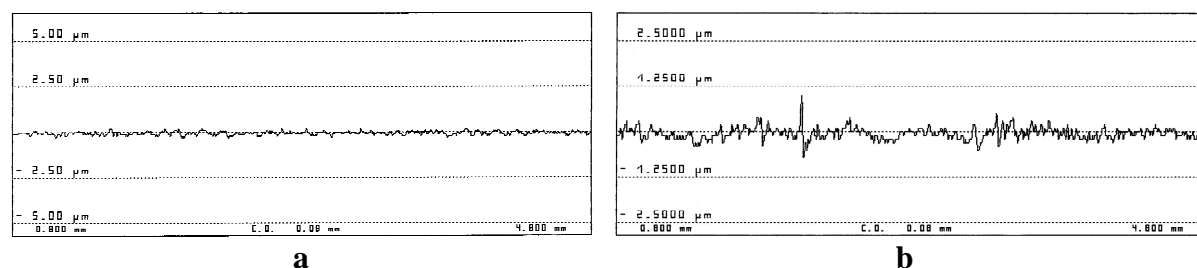
Rys. 6. Topografia powierzchni powłoki epoksydowej niestarzonej (a) oraz starzonej pod wpływem wodnego 5% roztworu kwasu siarkowego w ciągu 744 h (b)

Źródło: badania własne [9]



Rys. 7. Falistość powierzchni powłoki epoksydowej niestarzonej (a) oraz poddanej starzeniu wodnym 5% roztworem kwasu siarkowego w ciągu 744 h (b) [9]

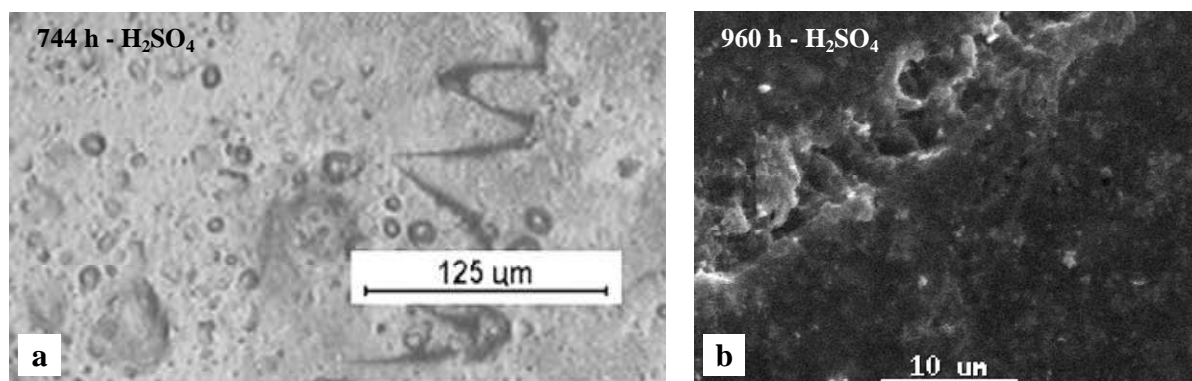
Źródło: badania własne [9]



Rys. 8. Profil chropowatości powierzchni powłoki epoksydowej niestarzonej (a) oraz starzonej wodnym 5% roztworem kwasu siarkowego w ciągu 1008 h (b) [9]

Źródło: badania własne [9]

Starzenie powłok epoksydowych pod wpływem wodnego 5% roztworu kwasu siarkowego poza pęcherzeniem powodowało także charakterystyczne pęknięcia, przypominające swym kształtem zęby piły (rys. 9).



Rys. 9. Morfologia powierzchni powłoki epoksydowej starzonej pod wpływem wodnego 5% roztworu kwasu siarkowego (badania wykonano za pomocą: a - mikroskopu optycznego, b - skaningowego mikroskopu elektronowego)

Źródło: badania własne

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych wielokryterialnych badań powłok epoksydowych stwierdzono, że rodzaj i długość okresu oddziaływania mediów agresywnych (w postaci wodnych 5% roztworów: chlorku sodu, kwasu siarkowego, wodorotlenku potasu) ma istotny oraz zróżnicowany wpływ na pogarszanie się ich własności eksploatacyjnych. Media te przyczyniają się bowiem do różnego stopnia zesterzenia powłok, zarówno chemicznego, jak i fizycznego, które skutkuje ich pęcherzeniem oraz pękaniem, a także wzrostem chropowatości i falistości powierzchni.

Badania mikroskopowe oraz profilometryczne dokumentują zróżnicowane zesterzenie fizyczne powłok. Ponadto wyniki badań mikroskopowych upoważniają do stwierdzenia, że rozmiary oraz kształt pęknięć powierzchniowych powłok epoksydowych zależą od rodzaju i długości okresu starzenia. Mają one w przybliżeniu kształt pasm o długości $70\div 190\ \mu\text{m}$ i szerokości wynoszącej $2,5\div 10\ \mu\text{m}$. Oddziaływanie wodnego 5% roztworu kwasu siarkowego powodowało także pęcherzenie powłoki, zaś wokół pęcherzy, jak i na ich powierzchni generowane były pęknięcia. Starzona powłoka wykazywała zwiększoną falistość, której wartość maksymalna była ponad 40-krotnie większa, niż falistość powłoki niestarzonej.

O zróżnicowanym i niejednorodnym zesterzeniu chemicznym powierzchni badanych powłok epoksydowych świadczą charakterystyki absorpcji totalnej, uzyskane za pomocą spektroskopowych badań w podczerwieni.

Znaczne zesterzenie chemiczne i fizyczne badanych powłok epoksydowych spowodowało oddziaływanie wodnego 5% roztworu kwasu siarkowego, co w szczególności udokumentowały przebiegi charakterystyk, uzyskanych za pomocą dynamiczno-mechanicznej analizy termicznej (DMA). Stwierdzono w ich wyniku wyraźny wzrost temperatury zeszklenia, bo aż o 30% (dla starzenia w ciągu 1008 h) i zwiększenie modułu zachowawczego (powyżej temperatury zeszklenia T_g). Świadczy to o dodatkowym sieciowaniu powłok.

Dla pozostałych rodzajów starzenia odnotowano, po okresie starzenia w ciągu 1008 h, zmniejszenie średnio o $10\div 15\%$ temperatury zeszklenia powłok. Stopień zesterzenia powłok miał również wpływ na ich podatność na zrywanie – podczas cyklicznego rozciągania

metodą DMA. Podsumowując, należy stwierdzić, że procesy starzeniowe powłok, generowane w ich strukturze pod wpływem mediów agresywnych, zależą od rodzaju i stężenia medium agresywnego. Ma to istotny wpływ na własności eksploatacyjne powłok, takie jak: odporność na oddziaływanie cząstek erozyjnych, wytrzymałość statyczna i dynamiczna, odporność cieplna oraz adhezja do podłoża. Poprawę odporności powłok polimerowych na oddziaływanie mediów agresywnych można uzyskać poprzez modyfikację struktury powłok nanocząstkami napełniaczy oraz pigmentów [6, 15, 21, 28, 29].

BIBLIOGRAFIA

1. Bierwagen G.P.: Reflections on corrosion control by organic coatings. Progress in Organic Coatings 1996, Vol. 28, p. 43÷48.
2. Brojer Z., Hertz Z., Penczek P.: Żywice epoksydowe. WNT, Warszawa 1982.
3. Decker C., Biry S.: Light stabilization of polymers by radiation-cured acrylic coatings. Progress in Organic Coatings 1996, Vol. 29, p. 81÷87.
4. Dickie R.A.: Paint adhesion, corrosion protection and interfacial chemistry. Progress in Organic Coatings 1994, Vol. 25, p. 3÷22.
5. Kazicyna L.A., Kupletska N.B.: Metody spektroskopowe wyznaczania struktury związków organicznych. PWN, Warszawa 1976.
6. Knowles T.: The new toolbox. Nanotechnology in paints and coatings. European Coatings Journal 2006, Vol. 3, p.16÷18.
7. Kotnarowska D.: Wpływ procesu starzenia na trwałość powłoki epoksydowej. Monografia Nr 12, Wydawnictwo WSI Radom 1994, 206 s.
8. Kotnarowska D.: Influence of ultraviolet radiation and aggressive media on epoxy coating degradation. Progress in Organic Coatings 1999, Vol. 37, p. 149÷159.
9. Kotnarowska D.: Wpływ czynników otoczenia na własności eksploatacyjne ochronnych powłok epoksydowych urządzeń technicznych. Monografia Nr 40, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 1999, 232 s.
10. Kotnarowska D.: Influence of ageing on mechanical properties of epoxide coating. Materials of conference: Advances in Corrosion Protection by organic Coating, Cambridge 1999, V. 2, Extended Abstract 28, p. 1÷9.
11. Kotnarowska D.: Rodzaje procesów zużywania powłok polimerowych. Monografia Nr 60, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2003, 212 s.
12. Kotnarowska D., Kurcok M.: Zastosowanie badań termomechanicznych do oceny kinetyki starzenia powłok epoksydowych. Inżynieria Powierzchni 2006, Nr 1, s. 15÷22.
13. Kotnarowska D.: Ocena zużycia powierzchni powłok epoksydowych starzonych wodnym roztworem wodorotlenku potasu. Tribologia 2009, nr 4, s. 113÷122.
14. Kotnarowska D.: Epoxy coating destruction as a result of sulphuric acid aqueous solution action. Progress in Organic Coatings 2010, Vol. 67, p. 324÷328.
15. Kotnarowska D.: Destrukcja powłok polimerowych pod wpływem czynników eksploatacyjnych. Wydawnictwo Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu. Radom 2013, 212 s.
16. Kotnarowska D.: Powłoki ochronne. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej. Radom 2010, 320 s. (Wydanie III, poprawione i rozszerzone)
17. Narisava I.: Resistance of Polymer Materials. Ed. Chemistry, Moscow 1987 (in Russian).
18. Negel O., Funke W.: Internal stress and wet adhesion of organic coatings. Progress in Organic Coatings 1996, Vol. 28, p. 285÷289.
19. Nguyen T., Bentz D., Byrd E.: A study of water at the organic coating/substrate interface. Journal of Coatings Technology 1994, Vol. 66, No. 834, p. 39÷50.

20. Nguyen T., Hubbard J.B., Pommersheim, J.M.: Unified model for the degradation of organic coatings on steel in a neutral electrolyte. *Journal of Coatings Technology* 1996, Vol. 68, No. 855, p. 45÷56.
21. Pilotek S., Tabellion F.: Nanoparticles in coatings. Tailoring properties to applications. *European Coatings Journal* 2005, Vol. 4, p.170÷17
22. Pommersheim, J.M., Nguyen T., Zhang Z., Hubbard J.B.: Degradation of organic coatings on steel. *Progress in Organic Coatings* 1994, Vol. 25, p. 23÷41.
23. Schlesing W. u.a.: Charakterisierung von Vernetzungsvorgängen mit der dynamisch-mechanischen Analyse. *Farbe und Lack* 1995, N. 3, S. 277÷280.
24. Siwoń U.: Vergleichende Prüfungen der Alterung von Lackfilmen unter vergleichenden Bedingungen. XXII Fatipecc Congress 1994, T. 1, S. 191÷203.
25. Skerry B.S., Simpson C.H.: Accelerated test method for assessing corrosion and weathering of paints for atmospheric corrosion control. *Corrosion* 1993, Vol. 49, No. 8, p. 663÷674.
26. Spadafora S.J., Leidheiser H.: Water disbondment characterization of polymer coating/metal substrate systems. *Journal of the Oil and Colour Chemists Association. Surface Coatings International (GBR)* 1988, Vol. 71, No. 9, p. 276÷285.
27. Unsworth J., Li Y.: Thermal degradation of epoxy/silica composites monitored via dynamic mechanical thermal analysis. *Journal of Applied Polymer Science* 1992, Vol. 46, p. 1375÷1379.
28. Zubielewicz M.: Wpływ nanocząstek SiO₂ na właściwości lakierów i powłok lakierowych, *Ochrona przed Korozją* 2008, Nr 51, (12) s. 462÷464.
29. Zubielewicz M., Kamińska-Tarnawska E.: Powłoki odbijające promieniowanie słoneczne, *Ochrona przed Korozją* 2009, Nr 52 (4-5) s. 106÷109.

*Niniejsza praca została wykonana w ramach grantu N N504 486039
finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego*

INFLUENCE OF AGGRESSIVE MEDIA ON DESTRUCTION OF EPOXY PROTECTIVE COATINGS OF TECHNICAL OBJECTS

Abstract

The paper presents unconventional examinations of destruction of epoxy coatings aged with aggressive media in the form of 5% water solutions of: sodium chloride, sulphuric acid and potassium hydroxide. Coatings cracking as well as essential increase of coatings surface roughness was observed under the influence of these media. Moreover, in the case of sulphuric acid water solution action, the increase of coatings surface waviness was stated as a result of blistering. Destruction of coatings was examined with the use of electron and optical microscopy. Kinetics of coatings ageing was analysed on the basis of characteristics obtained using dynamic-mechanical analysis (DMA) as well as infrared spectroscopy (FTIR). Evaluation of coatings surface topography changes (waviness and roughness) was made on the basis of profilometric analysis.

Autor: dr hab. inż. Danuta Kotnarowska

prof. nadzw., Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu,
Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn
e-mail: d.kotnarowska@uthrad.pl