

Danuta KOTNAROWSKA, Michał SIRAK

METODA OCENY ADHEZJI POWŁOKI AKRYLOWEJ DO STALOWEGO PODŁOŻA

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań adhezji (wg PN-EN ISO 4624:2004) powłok akrylowych do stalowego podłoża. Przeprowadzone badania udowodniły istotny wpływ chropowatości powierzchni podłoża na wytrzymałość jego połączenia adhezyjnego z powłoką akrylową. Największą siłę adhezji odnotowano dla powierzchni stalowej szlifowanej papierem ściernym gruboziarnistym (P80), zaś najmniejszą dla powłoki szlifowanej papierem drobnoziarnistym (P600). Wynika to z faktu, że powierzchnia przygotowana papierem gruboziarnistym jest silniej rozwinięta, niż powierzchnia szlifowana papierem drobnoziarnistym. Dokumentuje to wartość parametru Ra, która w przypadku powierzchni próbki stalowej, przygotowanej papierem ściernym drobnoziarnistym (o gradacji P600), wynosi $0,19 \mu\text{m}$, zaś dla powierzchni przygotowanej papierem gruboziarnistym (P80) jest czterokrotnie większa. Wynikająca z wyższej chropowatości podłoża większa powierzchnia jego kontaktu adhezyjnego z powłoką zapewnia jej silniejsze związanie z chronionym podłożem.

WSTĘP

Właściwe przygotowanie powierzchni metalowego podłoża, przed nałożeniem powłok ochronnych, jest jednym z podstawowych czynników decydujących o jakości, a tym samym o trwałości powłoki [1÷4, 7, 9, 13].

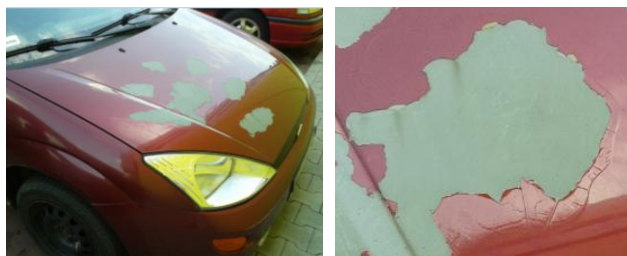
Nawet najlepsze powłoki, o dużej odporności na destrukcyjne oddziaływanie środowiska eksploatacji, mogą nie spełniać swej funkcji ochronnej, jeżeli zostaną nałożone na nieodpowiednio przygotowane podłoża. Pod pojęciem przygotowania powierzchni rozumie się nadanie powierzchni wymaganej chropowatości oraz czystości. Należy podkreślić, że obecność na podłożu zanieczyszczeń uniemożliwia pełną adhezję powłok polimerowych do podłoża, bowiem zasięg sił adhezji jest rzędu $10\text{-}3 \mu\text{m}$. Efektywne usuwanie zanieczyszczeń z powierzchni zabezpieczanej powłokami jest zatem zabiegiem koniecznym. Zanieczyszczenia mogą być pochodzenia organicznego (smary, oleje, tłuszcze, różnego rodzaju emulsje) oraz nieorganicznego (tlenki metali i ich sole, pyły) [16, 18].

Z definicji adhezja (będąca synonimem przylegania i przyczepności) to zjawisko fizycznego łączenia się powierzchniowych warstw dwóch różnych ciał (faz), doprowadzonych do zetknięcia, na skutek przyciągania międzycząsteczkowego (tzw. oddziaływania van der Waalsa).

Na skutek przenikania mediów agresywnych do podłoża, przez defekty (pory, pęknięcia) znajdujące się w strukturze powłok, oddziaływanie sił adhezji ulega osłabieniu. Utrata adhezji powłoki polimerowej do podłoża, w wyniku destrukcyjnego oddziaływania środowiska eksploatacji, równoznaczna jest z zanikaniem własności ochronnych powłoki względem podłoża. Adhezja stanowi zatem podstawowe kryterium trwałości eksploatacyjnej powłok polimerowych [5÷8, 17].

Najsilniejszy wpływ na utratę adhezji powłok do podłoża mają: media agresywne (kwaśne deszcze, solanka), a także obciążenia mechaniczne powodujące: pękanie, ścieranie oraz zarysowanie powłok. Powodują one w powłokach polimerowych rozwój procesów zużycia i destrukcji, prowadzących w efekcie końcowym do uszkodzenia powłok [10÷12, 14, 15].

Przykład utraty adhezji powłoki nawierzchniowej do warstwy podkładowej nadwozia samochodu przedstawiano na rysunku 1.



Rys. 1. Utrata adhezji powłoki nawierzchniowej do warstwy podkładowej nadwozia samochodu

1. METODYKA BADAWCZA

1.1. Materiały i przygotowanie próbek do badań

Badano 6 próbek stalowych o wymiarach $160 \times 80 \times 2 \text{ mm}$. Na powierzchnię próbek stalowych (S 235 JRG 2) szlifowanych papierem ściernym o gradacji P80 (dwie próbki), P150 (dwie próbki), P600 (dwie próbki) naniesiono metodą natrysku pneumatycznego trzy warstwy akrylowe. Warstwę nawierzchniową oraz podkładową otrzymano z farby rozpuszczalnikowej. Międzywarstwa została wykonana z farby wodorocieklicznej. Powłoki akrylowe aklimatyzowano w ciągu 20 dni, w temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ (PN-EN 23270:1993). Strukturę powłoki akrylowej przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Struktura trójwarstwowej powłoki akrylowej

1.2. Metodyka badań własności powłok polimerowych

Pomiary grubości powłok akrylowych przeprowadzono za pomocą urządzenia Mega-Check FE. Średnia grubość powłok akrylo-

wych wynosiła $125 \pm 1 \mu\text{m}$. Badania chropowatości wykonano za pomocą testera Hommel T500. Natomiast wytrzymałość połączenia adhezyjnego powłoki akrylowej ze stalowym podłożem przeprowadzono metodą odrywową (wg PN-EN ISO 4624). Adhezję powłok lakierniczych badano za pomocą urządzenia PosiTest AT Digital.

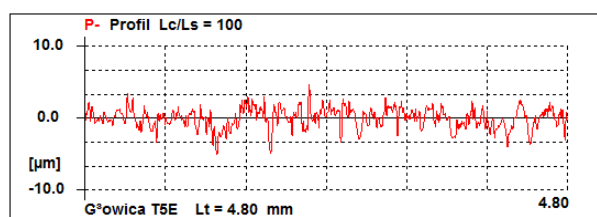
1.3. Badanie i ocena chropowatości powierzchni próbek stalowych

Powierzchnię próbek stalowych przygotowano papierem ściernym o gradacji: P80, P150, P600, z zastosowaniem szlifierki oscylacyjnej. W badaniach chropowatości powierzchni próbek stalowych zastosowano tester Hommel T500.

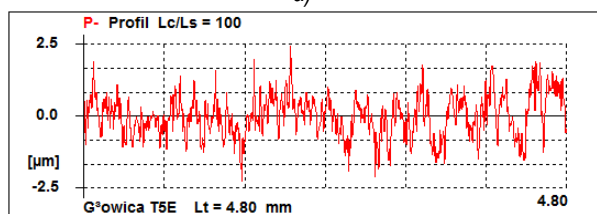
Wyniki przeprowadzonych badań udowodniły, że rozmiary ziarna elektokorundu miały istotny wpływ na chropowatość powierzchni próbek stalowych (tab. 1) (rys. 3÷5). Im większe były rozmiary ziarna elektokorundu, tym chropowatość powierzchni była większa. Do oceny chropowatości powierzchni zastosowano parametry Ra oraz Rz (rys. 3÷5).

Tab. 1. Charakterystyka papieru ściernego

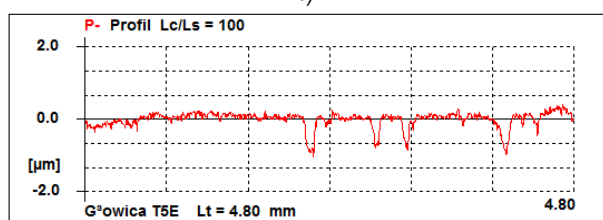
Lp.	Gradacja papieru ściernego	Rozmiar ziarna podsypki [μm]	Materiał ziarna
1.	P80	212÷180	Elektokorund
2.	P150	106÷90	Elektokorund
3.	P600	25÷27	Elektokorund



a)

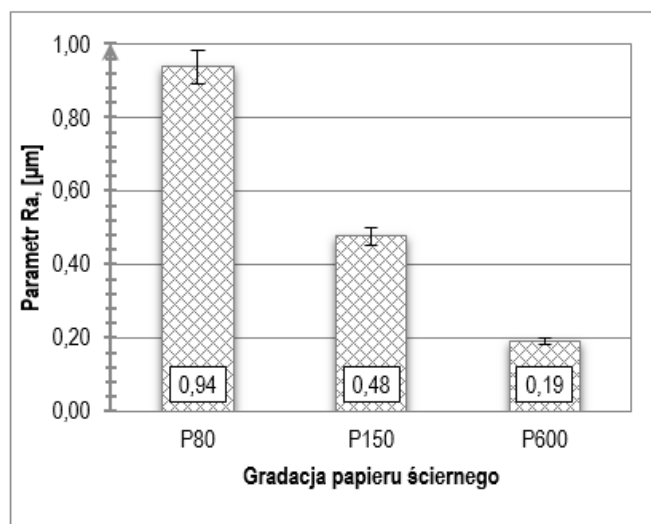


b)

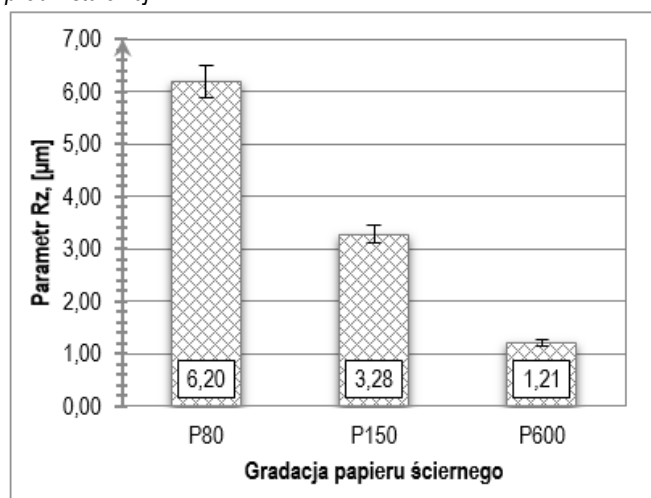


c)

Rys. 3. Profil chropowatości powierzchni próbki stalowej szlifowanej papierem ściernym o gradacji: P80 (a), P150 (b), P600 (c)



Rys. 4. Charakterystyka parametru Ra chropowatości powierzchni próbki stalowej



Rys. 5. Charakterystyka parametru Rz chropowatości powierzchni próbki stalowej

2. METODA BADANIA ADHEZJI POWŁOK AKRYLOWYCH

Badania adhezji powłok akrylowych przeprowadzone metodą odrywową, za pomocą aparatu PosiTest AT Digital (rys. 6), zgodnie z wytycznymi normy PN-EN ISO 4624:2004 (Farby i lakiery. Próba odrywania do oceny przyczepności).



Rys. 6. Urządzenie do badania adhezji powłok polimerowych (1-port USB do przesyłania danych do komputera PC, 2-wyświetlacz LCD, 3-uchwyt pompy hydraulicznej, 4-pompa hydrauliczna, 5-uchwyt siłownika, 6-zespół siłownika, 7-uchwyt do mocowania stempli pomiarowych, 8-wąż, 9-frez do przecinania powłoki)

W metodzie odrywowej wyznaczana jest siła odrywająca obszar powłoki polimerowej (o określonej powierzchni) od podłoża. Badanie adhezji powłoki jednowarstwowej (lub wielowarstwowego systemu powłokowego) do podłoża polega na odrywaniu (prostopadle do podłoża) powłoki za pomocą specjalnego przyrządu o napędzie: mechanicznym, hydraulicznym lub pneumatycznym (rys 6). Metodą tą można badać powłoki naniesione na podłoża różnego rodzaju.

Wykonanie oznaczenia polega na przyklejeniu na powierzchni badanej powłoki stempla pomiarowego (rys. 7), a następnie oderwaniu tego stempla przy wzroście naprężenia, jednak nie większym niż 1 MPa/s. Podczas badań adhezji podłoże nie powinno ulegać odkształceniu. Stemple pomiarowe mają kształt cylindryczny i posiadają z jednej strony płaską powierzchnię czołową – o minimalnej średnicy 20 mm, którą są przyklejane do powłoki (rys. 7 i 8).



Rys. 7. Stemple pomiarowe



Rys. 8. Stemple pomiarowe przyklejone do powierzchni powłoki polimerowej (naciętej frezem)

Drugi koniec stempla mocowany jest w uchwycie urządzenia, stosowanego w badaniach adhezji powłok metodą odrywową (rys. 9).



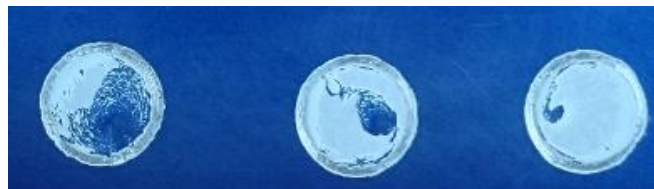
Rys. 9. Uchwyt stosowany do odrywania stempli

Norma dopuszcza stosowanie stempli o mniejszej średnicy (7 mm), ale wówczas konieczne jest wykonywanie większej liczby pomiarów, celem zwiększenia dokładności wyników badań adhezji powłok polimerowych. Klej służący do przyklejania stempla powinien

mieć właściwości kohezyjne i adhezyjne lepsze niż badana powłoka. Zalecane są kleje epoksydowe lub poliesterowe.

W wyniku przetarcia powierzchni powłoki i stempla papierem ściernym można zwiększyć przyczepność na powierzchni granicznej pomiędzy powłoką i klejem. Przed wykonaniem pomiaru adhezji utwardzoną warstwę kleju oraz powłokę należy przeciąć (po obwodzie stempla pomiarowego) do podłoża (rys. 8), za pomocą specjalnego noża (rys. 6).

Po oderwaniu stempla ocenie podlega stan powierzchni badanej powłoki oraz stempla (rys 10 i 11), celem ustalenia rodzaju oderwania (wg kryteriów zawartych w tabeli 2).



Rys. 10. Widok próbki stalowej pokrytej powłoką polimerową po oderwaniu stempli pomiarowych



Rys. 11. Widok podstawy stempli pomiarowych po oderwaniu od powierzchni badanej próbki

Badania adhezji powłok polimerowych wykonuje się w temperaturze $23 \pm 2^\circ\text{C}$, przy wilgotności względnej powietrza wynoszącej $50 \pm 5\%$. Badania te przeprowadza się nie tylko w warunkach laboratoryjnych, ale również w terenie, w warunkach atmosferycznych. Norma PN-EN ISO 4624:2004 (Farby i lakiery -- Próba odrywania do oceny przyczepności) zaleca wykonanie, co najmniej, sześciu oznaczeń adhezji powłok polimerowych. Powyższa norma wyszczególnia różne rodzaje oderwania, które zdefiniowano w tabeli 2.

Tab. 2. Rodzaje oderwania powłoki polimerowej (wg PN-EN ISO 4624:2004)

Oznaczenie	Opis
A	oderwanie kohezyjne w podłożu
A/B	oderwanie adhezyjne między podłożem a pierwszą warstwą
B	oderwanie kohezyjne w pierwszej warstwie powłoki
B/C	oderwanie adhezyjne między pierwszą a drugą warstwą powłoki
n	oderwanie kohezyjne w n-tej warstwie systemu powłokowego
n/m	oderwanie adhezyjne między n-tą a m-tą warstwą systemu powłokowego
-Y	oderwanie adhezyjne w ostatniej warstwie od kleju
Y	oderwanie kohezyjne w kleju
Y/Z	oderwanie adhezyjne między warstwą kleju a stemplem pomiarowym

Miarą adhezji (przyczepności) powłoki jest najmniejsze naprężenie rozciągające, potrzebne do oderwania najsłabszej powierzchni granicznej (oderwanie adhezyjne) lub najsłabszego miejsca badanego systemu powłokowego (oderwanie kohezyjne). Podczas badania mogą wystąpić jednocześnie obydwa rodzaje oderwania. Jako wynik badania podaje się wartość naprężenia rozciągającego oraz rozmiary powierzchni (w %), 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].

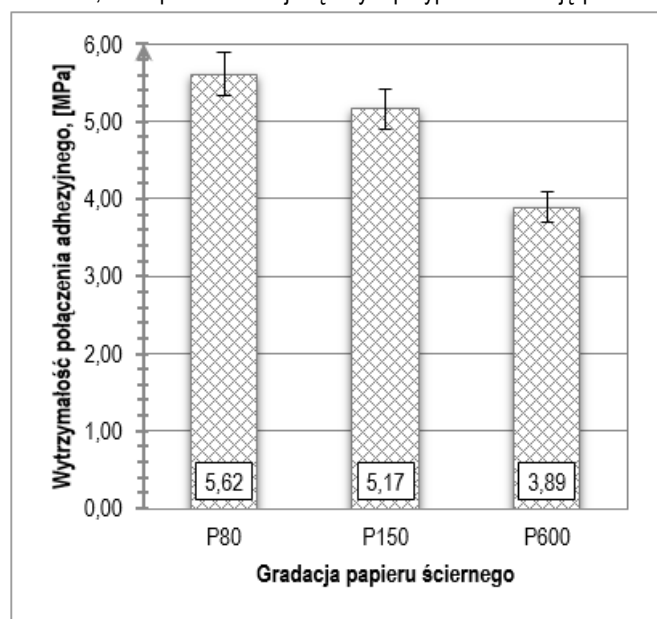
3. OCENA ADHEZJI POWŁOK AKRYLOWYCH

Przeprowadzone badania adhezji powłok akrylowych do stalowego podłoża udowodniły istotny wpływ chropowatości powierzchni podłoża na wytrzymałość jego połączenia adhezyjnego z powierzchnią powłoki akrylowej.

Czyszcząc powierzchnię próbek stalowych papierem gruboziarnistym (P80), uzyskano parametr chropowatości Ra=0,94 μm, zaś przygotowanie powierzchni papierem drobnoziarnistym (P600) pozwoliło na uzyskanie parametru Ra=0,19 μm (rys 4).

Największą siłę adhezji (σ = 5,62 MPa) odnotowano dla powierzchni stalowej szlifowanej papierem ściernym gruboziarnistym (P80), zaś najmniejszą (σ = 3,89 MPa) dla powłoki szlifowanej papierem drobnoziarnistym (P600) (rys. 12).

Wynika to z faktu, że powierzchnia przygotowana papierem gruboziarnistym jest silniej rozwinięta, niż powierzchnia szlifowana papierem drobnoziarnistym. Stąd większa powierzchnia kontaktu adhezyjnego powłoki z podłożem o wyższej chropowatości powierzchni, co zapewnia silniejszą w tym przypadku adhezję powłoki.



Rys. 12. Wytrzymałość połączenia adhezyjnego powłoki polimerowej ze stalowym podłożem szlifowanym papierem ściernym o gradacji: P80, P150, P60

PODSUMOWANIE

1. Przeprowadzone badania adhezji powłok akrylowych do stalowego podłoża udowodniły istotny wpływ chropowatości powierzchni podłoża na wytrzymałość jego połączenia adhezyjnego z powierzchnią powłoki akrylowej. Największe siły adhezji odnotowano dla powierzchni stalowej szlifowanej papierem ściernym gruboziarnistym (P80), zaś najmniejsze dla powłoki szlifowanej papierem drobnoziarnistym (P600).
2. Wynika to z faktu, że powierzchnia przygotowana papierem gruboziarnistym jest silniej rozwinięta, niż powierzchnia szlifowana papierem drobnoziarnistym. Dokumentują to wartości parametru Ra, który w przypadku powierzchni stalowej próbki, przygotowanej papierem ściernym drobnoziarnistym (o gradacji P600) wynosi 0,19 μm, zaś dla powierzchni przygotowanej papierem gruboziarnistym (P80) jest czterokrotnie większy.
3. Stąd większa powierzchnia kontaktu adhezyjnego powłoki z podłożem o wyższej chropowatości powierzchni, co zapewnia silniejszą w tym przypadku adhezję powłoki.

BIBLIOGRAFIA

1. Andziak J., Kobus J., Flis J.: Metody monitorowania procesów korozyjnych. Ochrona przed Korozją 2000, nr 10, s. 259 ÷ 263.
2. Bordziłowski J.: Wpływ przygotowania powierzchni różnymi ścierniwami na własności ochronne powłok malarskich. Materiały konferencyjne XXI Konwersatorium Korozji Morskiej. Jurata 1995, s. 175÷183.
3. Демьянова В.С., Логанина В.И.: Влияние вида подложки на продолжительность старения покрытий в различных условиях эксплуатации. Лакокрасочные материалы и их применение 1996, Н. 1, с. 12÷13.
4. Głuszko M.: Adhezja powłok lakierowych do powierzchni metali. Ochrona przed Korozją 2010, nr 4-5, s. 190 ÷ 195.
5. Kotnarowska D.: Rodzaje procesów zużywania powłok polimerowych. Monografia Nr 60, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2003, 212 s.
6. Kotnarowska D.: Epoxy coating destruction as a result of sulphuric acid aqueous solution action. Progress in Organic Coatings 2010, Vol. 67, p. 324÷328.
7. Kotnarowska D.: Powłoki ochronne. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej. Radom 2010, 320 s. (Wydanie III, poprawione i rozszerzone).
8. Kotnarowska D.: Destrukcja powłok polimerowych pod wpływem czynników eksploatacyjnych. Monografia, Wydawnictwo Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego, Radom 2013, 212 s.
9. Kozłowska A., Maślankiewicz E.: Wpływ przygotowania powierzchni na trwałość powłok malarskich. Materiały konferencyjne XXI Konwersatorium Korozji Morskiej. Jurata 1995, s. 185÷191.
10. Narisava I.: Resistance of Polymer Materials. Ed. Chemistry, Moscow 1987 (in Russian).
11. Nguyen T., Bentz D., Byrd E.: Method for measuring water diffusion in a coating applied to a substrate. Journal of Coatings Technology 1995, Vol. 67, No. 844, p. 37÷46.
12. 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.
13. Nowicka-Nowak M., Zubielewicz M., Tatarek A., Liberski P.: Wpływ składu podłoża i kąpieli cynkowej na przyczepność powłok lakierowych do powłok cynkowych otrzymanych

- w warunkach laboratoryjnych i przemysłowych. Ochrona przed Korozją 2011, nr 4-5, s. 237 ÷ 242.
14. 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.
 15. Старцев В.П. и др.: Адгезионные и защитные свойства покрытий на основе полиамидоимидов. Лакокрасочные материалы и их применение 1998, Н. 3, с. 40 ÷ 41.
 16. Zubielewicz M., Królikowska A.: Wpływ okresu przemałowywania powłok epoksydowych na adhezję powłok nawierzchniowych i właściwości ochronne całego systemu powłokowego. Ochrona przed Korozją 2008, nr 3, s. 80 ÷ 87.
 17. 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.
 18. Żenkiewicz M.: „Adhezja i modyfikowanie warstwy wierzchniej tworzyw wielkocząsteczkowych”, WNT, Warszawa 2000.

EVALUATION OF ACRYLIC COATING ADHESION TO STEEL SUBSTRATE

Abstract

The paper presents examination results of acrylic coatings adhesion (acc. PN-EN ISO 4624:2004) to steel substrate. The examinations proved essential influence of substrate surface roughness on the strength of adhesive connection between steel substrate and acrylic coating. The highest adhesion force was noticed in the case of steel substrate grinded with the use of the coarse abrasive paper (P80), while the lowest one was observed in the case of fine abrasive paper (P600) use. It results from the fact that the substrate surface prepared with the coarse abrasive paper use is better developed than the surface grinded with the fine abrasive paper use. It is testified by value of Ra parameter which is equal 0.19 μm in the case of steel sample prepared with fine abrasive paper (P600) while in the case of coarse abrasive paper (P80) use is four times higher. Bigger surface of substrate adhesive contact with the coating, resulting from higher substrate roughness, ensures stronger connection of the coating with the substrate.

Autorzy:

prof. dr hab. inż. **Danuta Kotnarowska** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. tel: +48 48 361-76-70, 361-76-42, d.kotnarowska@uthrad.pl.

mgr inż. **Michał Sirak** – (DOKTORANT) Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny; 26-600 Radom; ul. Malczewskiego 29. tel: +48 48 361-76-70, 361-76-42, michals211@gmail.com