

Danuta KOTNAROWSKA*

**WPLYW GRUBOŚCI I TWARDOŚCI
POWŁOK AKRYLOWYCH
NA ICH ODPORNOŚĆ NA EROZJĘ**

**INFLUENCE OF THICKNESS AND HARDNESS
OF ACRYLIC COATING ON THEIR
EROSIVE RESISTANCE**

Słowa kluczowe:

erozja, twardość powłok polimerowych, powłoki akrylowe

Keywords:

erosion, hardness of polymeric coatings, acrylic coatings

Streszczenie

W artykule opisano intensywność zużywania erozyjnego powłok akrylowych, o różnej grubości (128-487 μ m) i twardości (28-77), dla kątów padania cząstek elektrokorundu $\alpha = (30, 45, 60)^\circ$. Minimalne zużycie erozyjne osiągnięto dla powłok o średniej grubości wynoszącej 218 μ m i twardości (wg Buchholza) wynoszącej 31,5.

* Politechnika Radomska, Wydział Mechaniczny, Radom 26-600, ul. Chrobrego 45.

WPROWADZENIE

Powłoki polimerowe urządzeń, eksploatowanych w naturalnych warunkach klimatycznych, narażone są na erozyjne oddziaływanie twardych cząstek (np. piasku), zawieszonych w powietrzu. Początkowy proces zniszczenia materiału powłoki charakteryzuje się intruzją cząstki erozyjnej w jej powierzchniową warstwę. Następnie cząstka przemieszcza się na pewnej drodze (zależnej od jej energii początkowej) w warstwie powierzchniowej, przemieszczając i skrawając mikroobjętości materiału [1]. Podczas wchodzenia cząstki erozyjnej w powierzchniową warstwę materiału (w warunkach swobodnego uderzenia) zachodzi deformowanie materiału w miejscu kontaktu z cząstką, na skutek czego powstaje w tej warstwie niejednorodny, zdeformowany obszar, o złożonym stanie naprężeń, którego granice ulegają ciągłym zmianom. Naprężenia i deformacje, generowane podczas erozyjnego oddziaływania twardych cząstek na powłokę polimerową, zależą od kompleksu czynników, charakteryzujących parametry strumienia cząstek, a także od odporności materiału powłoki na deformacje sprężysto–plastyczne [2]. W strefie kontaktu powstają deformacje, sprzyjające przeniesieniu materiału powłoki, w kierunku składowej obciążenia stycznej do powierzchni, czyli w kierunku ruchu cząstki względem powierzchni powłoki. Głębokość intruzji cząstki oraz jej styczne przesunięcie związane są z mechanicznymi własnościami cząstki erozyjnej i materiału zużywanego erozyjnie. W przypadku ostrych kątów padania cząstki, na skutek przewagi stycznej składowej prędkości uderzenia, podstawowym procesem niszczenia powierzchniowej warstwy powłoki jest styczne przemieszczenie mikroobjętości materiału, to jest mikroskrawanie. Dla kątów padania bliskich 90° , na skutek przewagi składowej normalnej prędkości, mechanizm zużywania powierzchniowej warstwy powłoki – pod wpływem oddziaływania strumienia cząstek erozyjnych – w przeważającej mierze ma charakter polideformacyjny [1, 2].

Intensywność zużywania erozyjnego powłok polimerowych istotnie zależy od ich grubości [1, 3, 7, 8]. Istnieje optymalna grubość powłoki, dla której osiąga się maksymalną jej odporność na oddziaływanie cząstek erozyjnych [3, 4]. Zbyt cienkie powłoki niewystarczająco tłumią energię, wyzwalającą się podczas zderzenia z twardą cząstką, a w zbyt grubych

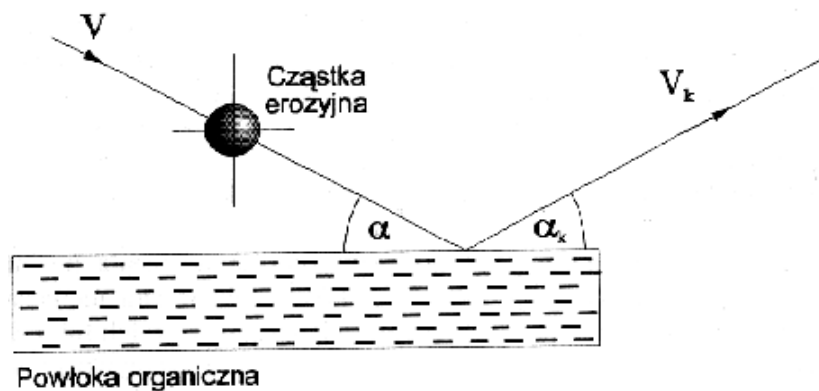
generowane są defekty strukturalne (mikropory, mikropełnięcia, kraterzy), które sprzyjają wykruszaniu powłok [1].

Intensywność zużywania erozyjnego powłok polimerowych zależy także od ich twardości [1, 3, 4, 7, 8]. Im wyższa twardość, tym większa kruchość powłok polimerowych, i maksimum zużywania erozyjnego dla tego rodzaju powłok osiągane jest dla ostrych kątów padania ($\alpha < 30^\circ$) cząstek erozyjnych. Kinetyka procesu erozyjnego zużywania podłoża stalowego powłok polimerowych (oraz elementów stalowych wogóle) zależy również od twardości jego warstwy powierzchniowej [5]. Na przykład, stale węglowe normalizowane (o twardości 197 HV) wykazują maksimum zużywania erozyjnego dla kąta padania (α) cząstki erozyjnej wynoszącego 45° , zaś hartowane i odpuszczone (o twardości 513 HV) maksimum zużywania erozyjnego osiągają dla $\alpha = 60^\circ$ [6]. Kinetyka procesu erozyjnego zużywania powłok polimerowych istotnie zależy od kąta padania cząstek erozyjnych. Jak wykazują przedstawione w literaturze wyniki badań, a także rezultaty eksperymentów własnych, każdy rodzaj powłok ma optymalne parametry, determinujące ich minimalne zużycie erozyjne [4, 8]. Przedmiotem badań, przedstawionych w niniejszym artykule, jest poszukiwanie zasad doboru optymalnej grubości i twardości powłok polimerowych, eksploatowanych w warunkach oddziaływania wymuszeń typu erozyjnego, których brak utrudnia efektywne projektowanie powłok ochronnych.

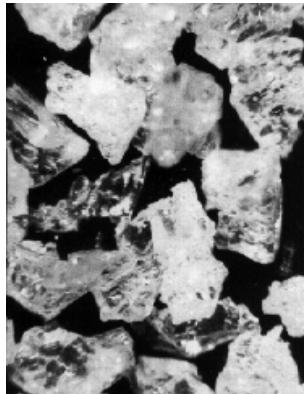
METODA BADAŃ INTENSYWNOŚCI ZUŻYWANIA EROZYJNEGO POWŁOK AKRYLOWYCH

W badaniach procesu erozyjnego zużywania powłok akrylowych wykorzystano urządzenie, zalecane w polskiej normie PN-76/C-81516. Celem zbadania wpływu kąta uderzenia cząstki erozyjnej na proces zużywania powłoki wykonano specjalny uchwyt, mocowany w powyższym urządzeniu, pozwalający na ustawienie próbki (w stosunku do kierunku strumienia swobodnie opadających cząstek elektrokorundu) pod dowolnym kątem α z przedziału ($0 \div 90^\circ$) (rys. 1).

Materiał ścierny stanowiły cząstki elektrokorundu granulowanego 99A (wg PN-76/M-59111), o wielkości ziarna $0,60 \div 0,71$ mm. Głównym składnikiem tego materiału erozyjnego jest tlenek glinu (minimum 99%), zaś pozostałe składniki to: dwutlenek krzemu, trójtlenek żelaza, tlenek wapnia i tlenek sodu (rys. 2).



Rys. 1. Parametry kontaktu cząstki erozyjnej z powierzchnią powłoki polimerowej
 Fig. 1. Parameters of erosive particle contact with polymeric coating surface



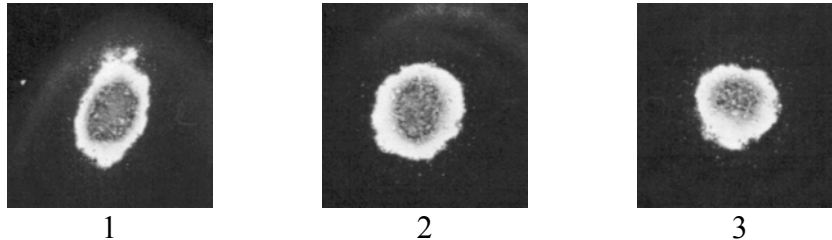
Rys. 2. Morfologia cząstek elektrokorundu granulowanego (powiększono 20 x)
 Fig. 2. Morphology of granulate aloxite (magnification 20 times)

Do oceny odporności powłoki na zużycie erozyjne zastosowano kryterium I, wyrażające stosunek grubości powłoki G do całkowitej masy cząstek erozyjnych, powodujących zużycie powłoki w badanym obszarze (tj. odsłonięcie przez startą powłokę fragmentu powierzchni podłoża, o kształcie elipsy – o mniejszej średnicy $d=3,6\pm 1$ mm) (1):

$$I = \frac{G}{M}, \quad (1)$$

gdzie: I – intensywność zużycia erozyjnego [$\mu\text{m}/\text{kg}$],
 G – grubość powłoki [μm],
 M – masa cząstek erozyjnych [kg].

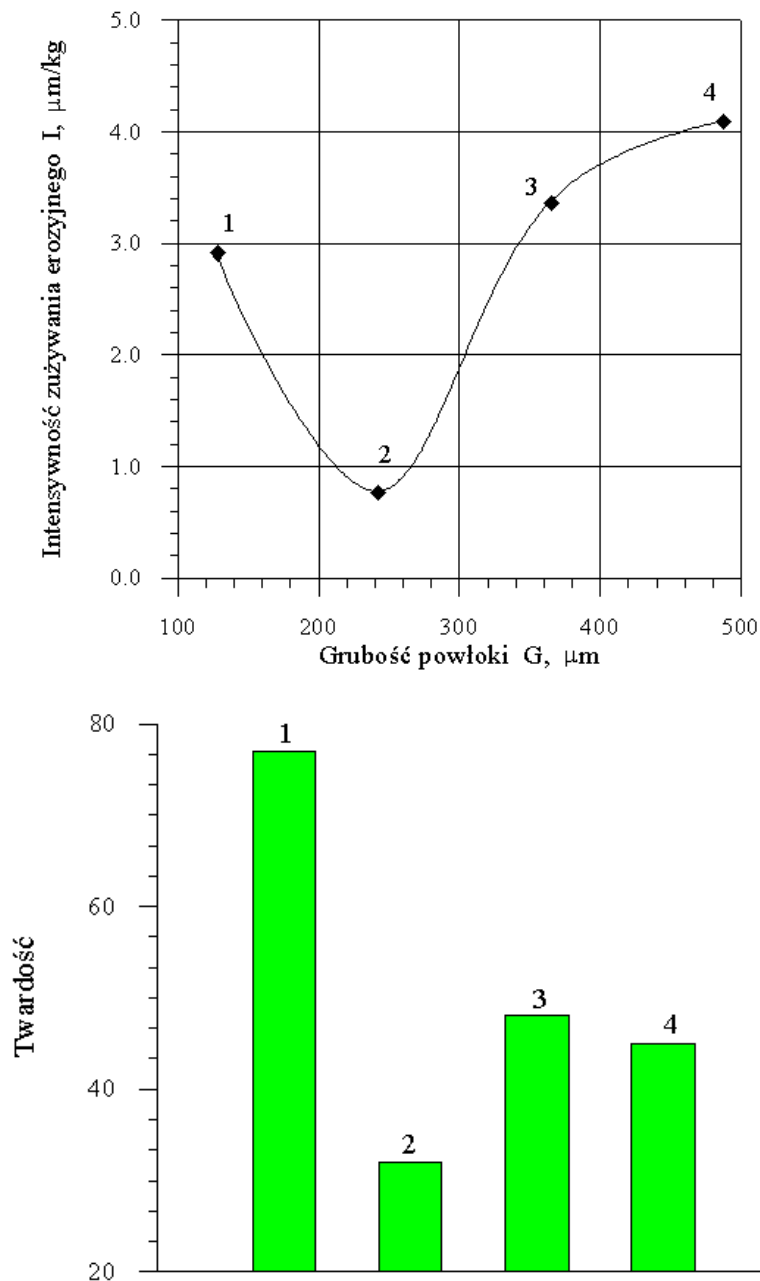
W wyniku uderzania cząstek erozyjnych w powłocę powstaje „krater”, którego kształt zależy od kąta ich padania (α) (rys. 3).



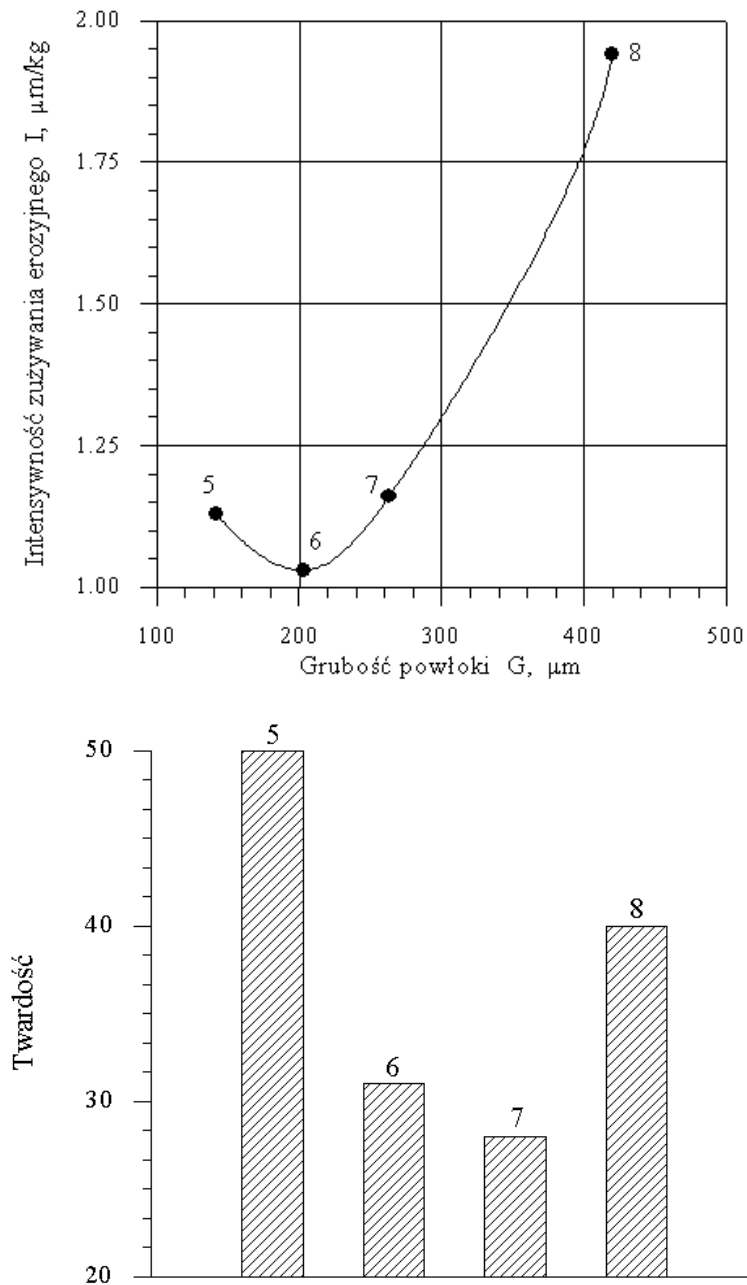
Rys. 3. Ślady przetarcia powłok akrylowych pod wpływem uderzania cząstek elektrokorundu, dla kątów padania: 1) $\alpha = 30^\circ$, 2) $\alpha = 45^\circ$, 3) $\alpha = 60^\circ$

Fig. 3. Signs of wear of acrylic coatings under the influence of alundum particles impacts for glancing angles: 1) $\alpha = 30^\circ$, 2) $\alpha = 45^\circ$, 3) $\alpha = 60^\circ$

Przed przystąpieniem do badań procesu erozyjnego zużycia powłok akrylowych dokonano pomiaru ich grubości (wg PN-79/C-81530). Powłoki akrylowe nałożono natryskiem pneumatycznym na próbki ze stali St3S, o powierzchni przygotowanej metodą obróbki hydrościernej. Aklimatyzowano je w ciągu 10 dni, zgodnie z PN-86/C-81510. Badano powłoki o grubości od $128 \mu\text{m}$ do $487 \mu\text{m}$ oraz o twardości (wg Buchholtza), zawierającej się w przedziale (28-77). Wpływ grubości i twardości powłok oraz kąta padania (α) cząstek erozyjnych na kinetykę zużycia erozyjnego przedstawiono na rysunkach: 4, 5, 6.

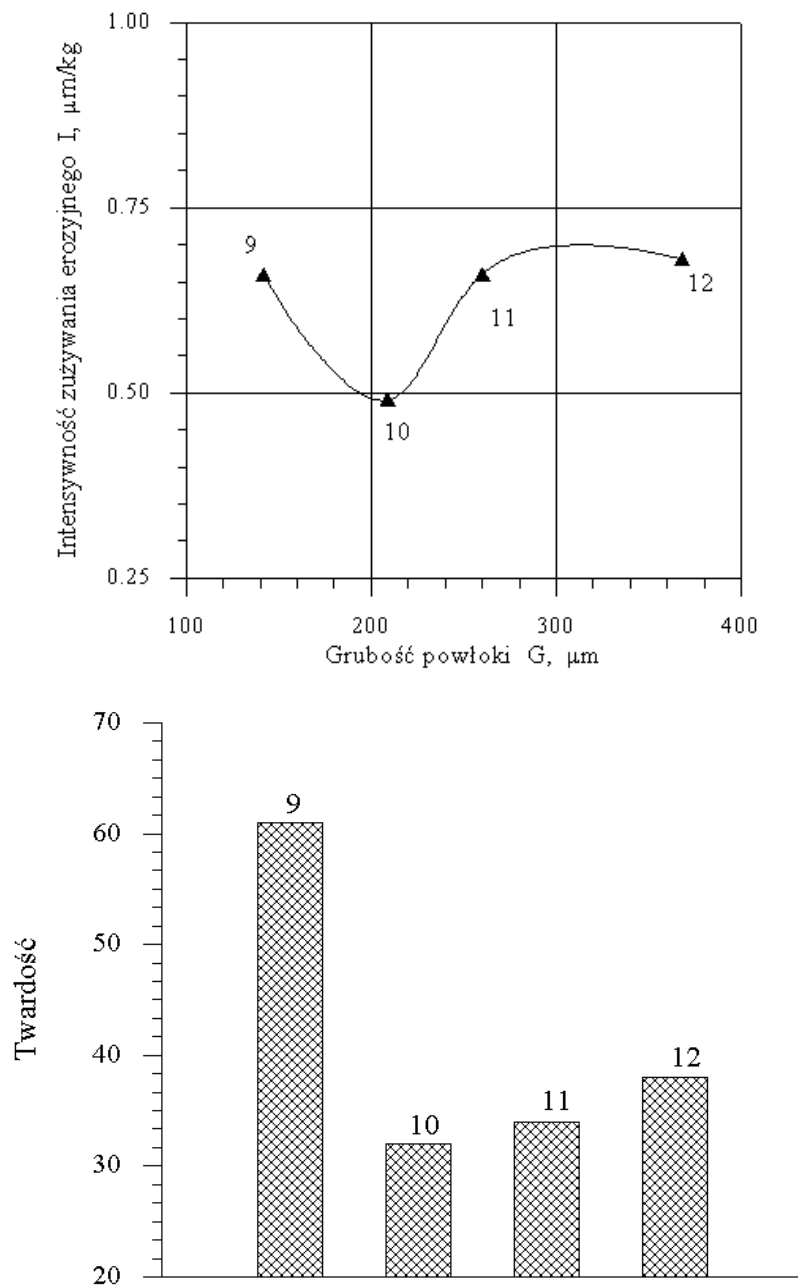


Rys. 4. Intensywność zużycia erozyjnego powłok akrylowych, dla kąta padania cząstek elektrokorundu $\alpha=30^\circ$
Fig. 4. Erosive wear intensity of acrylic coatings for glancing angle of alundum particles $\alpha=30^\circ$



Rys. 5. Intensywność zużycia erozyjnego powłok akrylowych, dla kąta padania cząstek elektrokorundu $\alpha=45^\circ$

Fig. 5. Erosive wear intensity of acrylic coatings, for glancing angle of alundum particles $\alpha=45^\circ$



Rys. 6. Intensywność zużycia erozyjnego powłok akrylowych, dla kąta padania cząstek elektrokorundu $\alpha=60^\circ$
Fig. 6. Erosive wear intensity of acrylic coatings, for glancing angle of alundum particles $\alpha=60^\circ$

Z przebiegu charakterystyk intensywności zużywania erozyjnego powłok wynika, że ich odporność erozyjna istotnie zależy zarówno od grubości, jak i twardości powłok. Minimum zużycia erozyjnego uzyskano dla grubości powłok od 198 do 242 μm i dla twardości zawartej w przedziale (31-32), dla $\alpha = (30, 45, 60)^\circ$.

Otrzymane wyniki potwierdziły rezultaty uzyskane wcześniej – dla powłok polimerowych innego typu (np. epoksydowych) – stwierdzające, że im większy jest kąt padania cząstek erozyjnych, tym ich zużycie erozyjne jest mniejsze [4, 5].

WNIOSKI

1. Proces erozyjnego zużywania badanych powłok akrylowych silnie zależy od kąta uderzenia cząstek elektrokorundu. Dla kątów padania $\alpha \leq 30^\circ$ zachodzi mikroskrawanie powłok, które przyczynia się do większej ich intensywności zużywania, niż dla kątów $\alpha \geq 45^\circ$.
2. Grubość, a także twardość, mają istotny wpływ na odporność powłok akrylowych na erozyjne oddziaływanie cząstek elektrokorundu. Minimalne zużycie erozyjne uzyskano dla powłok akrylowych o średniej grubości 218 μm i średniej twardości, wynoszącej 31,5, dla kątów padania cząstek erozyjnych $\alpha = (30, 45, 60)^\circ$. Prawdopodobnie ma na to wpływ optymalna grubość powłok, przy której powłoki mają najmniejszą ilość defektów strukturalnych.
3. Przy projektowaniu składu powłok należy zatem optymalizować zarówno ich grubość, jak również ich twardość, które determinują własności eksploatacyjne powłok, w warunkach oddziaływania narażeń otoczenia - w tym cząstek erozyjnych.

LITERATURA

1. Kotnarowska D.: Wpływ czynników otoczenia na własności eksploatacyjne ochronnych powłok epoksydowych urządzeń technicznych. Monografia Nr 40, Radom, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, 1999, s. 232.
2. Kotnarowska D.: Kinetics of wear of epoxide coating modified with glass microspheres and exposed to the impact of alundum particles. Progress in Organic Coatings 1997 Vol. 31 p. 325÷330.
3. Kotnarowska D.: Wpływ grubości powłoki epoksydowej na jej zużycie erozyjne. Tribologia, 2000, nr 3, s. 411÷418.

4. Kotnarowska D.: Wpływ liczby warstw powłok akrylowo-ftalowo-karbamidowych na intensywność zużycia erozyjnego. Problemy Eksploatacji, 2001, nr 4(3), s. 185÷194
5. Крагельский И. В., Добычин М. И., Комбалов В. С.: Основы расчетов на трение и износ. Изд. „Машиностроение”, Москва 1984.
6. Назаров С. И., Червяков И. Б.: О связи параметров контактного взаимодействия с интенсивностью газоабразивного изнашивания. Трение и износ, 1983, том IV, № 6, с. 995÷1000.
7. Окружов В. А. и др.: Исследование изнашиваемости коррозионно-стойких покрытий в газоабразивном потоке. Коррозия и защита трубопроводов, скважин, газопромыслового и газоперерабатывающего оборудования. Реферативный сборник (выпуск 2), Вниггазпром, Москва, 1976.
8. Протасов В.Н.: Полимерные покрытия нефте-промыслового оборудования. Изд. „Недра”, Москва 1994, с.224.

Recenzent:
Ryszard MARCZAK

Summary

The paper describes erosive wear intensity of acrylic coating of different thickness (128-487 μ m) and hardness (28-77) for alundum particles glancing angles $\alpha=(30,45,60)^\circ$. Minimum erosive wear was obtained for coating of mean thickness 218 μ m and hardness 31.5 (acc. to Buchholtz).