

Odporność na zużycie erozyjne i ścierne powłok natryskiwanych cieplnie

Erosion and wear resistance of thermal sprayed coatings

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczące oceny odporności na erozję ścierną powłok natryskiwanych cieplnie. Zaproponowano koncepcje stanowiska do badań erozji ścierniej umożliwiającej badania w szerokim zakresie, prędkości strugi ścierniej (do 200 m/s), jak i zmiennego kąta jej padania ($15\div 90^\circ$). Uzyskane wyniki pozwalają uszeregować badane powłoki pod względem odporności, na zużycie erozyjno – ścierne jak, i wnioskować o charakterystycznych cechach procesu zużywania.

Abstract

The article presents the results of the assessment of resistance to abrasive erosion of thermal sprayed coatings. Proposed concepts for research positions to the abrasive erosion tests in a wide range of abrasive jet speed (up to 200 m/s) and a variable angle of incidence ($15\div 90^\circ$). The obtained results allow to rank the coatings tested for resistance to abrasive wear and erosion resistance as well as inferred the relevant features of the wear process.

Wstęp

Znaczna część zastosowań powłok natryskiwanych cieplnie dotyczy sytuacji, w których istotne znaczenie ma odporność na zużycie ścierne [3]. Jednym z problemów jest zużycie erozji ścierniej, wywołana mikroskrąwaniem przez cząstki ścierniwa przemieszczające się wraz ze strumieniem płynu, najczęściej powietrza lub wody, a druga dotyczy ścierania przez umocowane we współpracującym elemencie cząstki ścierniwa [2]. Takie rodzaje zużycia dotyczą wszelkiego rodzaju instalacji transportu pneumatycznego np. w przemyśle cementowo wapienniczymo czy też w energetyce, w instalacjach odpowielania, jak również w rolnictwie i w ziemnych maszynach roboczych pracujących w budownictwie. W ślizgowych węzłach tarcia ten rodzaj zużycia powinien występować rzadko, np. w przypadku nieszczelności układów zabezpieczających węzeł tarcia od wpływów zewnętrznych (zapylenie) i w przypadku niesprawności systemów filtrujących. Wymienione sytuacje należy zakwalifikować do patologicznych. Zużycie ścierne w klasycznej postaci w ślizgowych węzłach tarcia występować może przy niewystarczającej trwałości smarującej warstwy granicznej podczas

rozruchu i wybiegu maszyny. W podanych badaniach ocenie poddano wybrane rodzaje powłok natryskiwanych plazmowo, przy czym badania te miały charakter rozpoznawczy.

Odporność na zużycie erozyjne

Badania wykonano na stanowisku zbudowanym z następujących zespołów (rys. 1):

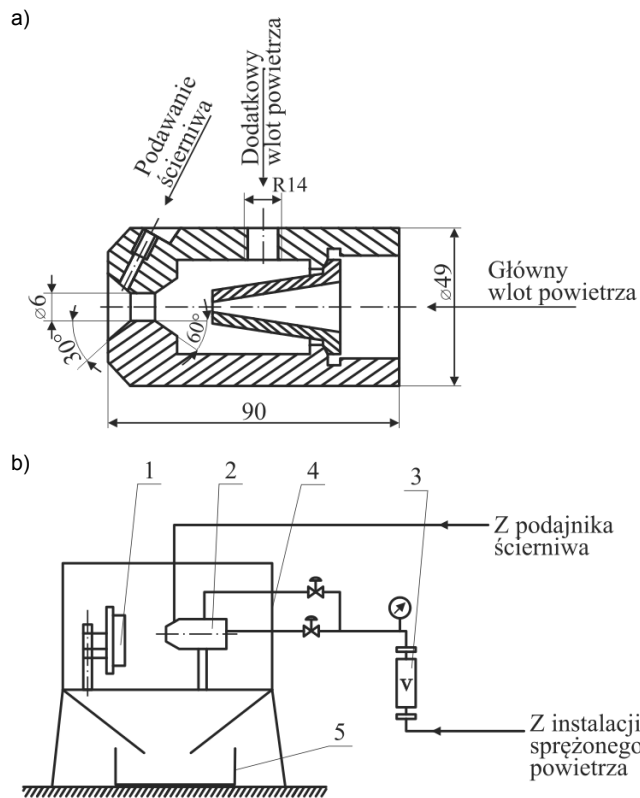
- uchwyt umożliwiający ustawienie próbki pod zadanym kątem ($20\div 90^\circ$) względem strugi powietrza ze ścierniwem,
- dyszę z zaworami i rotametrem,
- instalacji dozownika ścierniwa.

Uchwyt oraz dysza zamontowane są w specjalnej obudowie, w której dolna część spełnia rolę pojemnika na zużyte ścierniwo. Jako dozownik ścierniwa wykorzystano podajnik proszku plazmotronu PE-250. Wybór odpowiednich sit podajnika zabezpieczał równomierne i powtarzalne podawanie ścierniwa na próbki.

Specjalna konstrukcja dyszy umożliwia uzyskanie szerokiego zakresu prędkości strugi. Podawanie ścierniwa do strugi powietrza już poza dyszą powoduje, że dysza praktycznie nie ulega zużyciu podczas badań.

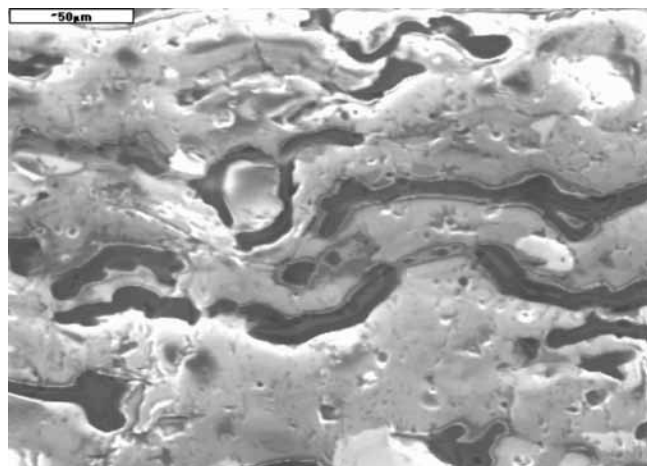
Badaniom poddano powłoki na podłożu ze stali S235JR z następujących materiałów: $Al_2O_3 + 3\% TiO_2$, $Al_2O_3 + 14\% TiO_2$, $Al_2O_3 + 10\% NiO$, $W_2C + 12\% Co$,

$\text{Al}_2\text{O}_3 + 10\% \text{Cr}_2\text{O}_3$, Cr_2O_3 , natryskiwane plazmowo (APS) przy użyciu zestawu do natryskiwania plazmowego Plancer z plazmotronem PN 120. Podczas natryskiwania stosowano standardowe parametry natryskiwania opracowane na podstawie zaleceń producentów sprzętu do natryskiwania, producentów proszków i własnych doświadczeń. Powłoki miały typową dla natryskiwania cieplnego strukturę lamelarną. Jako reprezentatywny dla badanych powłok przykład przedstawiono



Rys. 1. Przekrój dyszy (a) oraz schemat stanowiska do badania odporności powłok na zużycie ścierniwem w strudze powietrza (b), gdzie: 1 – próbka, 2 – dysza, 3 – rotametr, 4 – obudowa, 5 – pojemnik na zużyte ścierniwo

Fig. 1. Cross-section of the nozzle (a) and scheme of position to the wear resistance of coatings test in the spray blast of air (b), where: 1 – sample, 2 – nozzle, 3 – rotameter, 4 – housing, 5 – bin for used grit



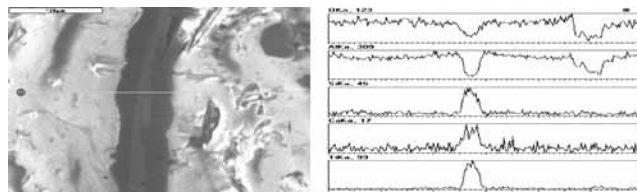
Rys. 2. Lamelarna struktura powłoki $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\% \text{TiO}_2$ [2]
Fig. 2. Structure of $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\% \text{TiO}_2$ coating [2]

zgląd powłoki $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\% \text{TiO}_2$ wraz z analizą liniową składu (rys. 2, 3).

Badania wykonano przy użyciu jako materiału ściernego selekcyjonowanego piasku kwarcowego o średnicy ziaren $d_z < 300 \mu\text{m}$ przy następujących parametrach: odległość dyszy od próbki $l = 40 \text{ mm}$, prędkość wypływu z dyszy $v = 98 \text{ m/s}$, kąt padania strugi względem płytki $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$.

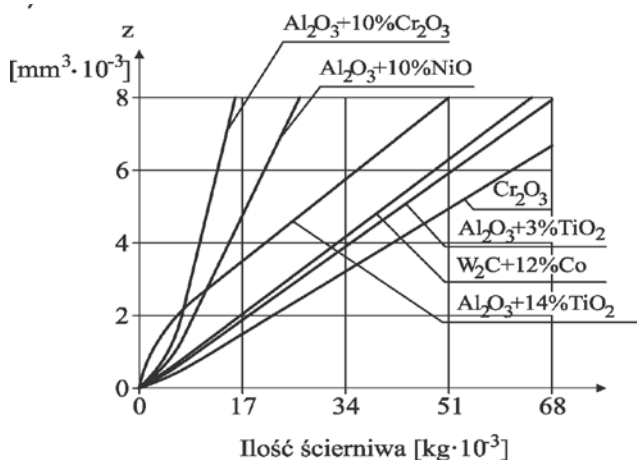
Próbkę stanowiła płytka o wymiarach $70 \times 70 \text{ mm}$ z naniesioną powłoką o grubości $0,3 \pm 0,6 \text{ mm}$. Próbki przygotowane do badań nie poddawano szlifowaniu. Miarą zużycia próbki był ubytek masy oraz objętości po przeprowadzeniu próby (zużycie 1 kg ścierniwa). W celu uzyskania miarodajnych wyników próby przy zadanych parametrach przeprowadzano sześciokrotnie. Pomiar ubytku objętości próbki wykonywano na kształtografie PG 2-200 z przystawką 3D. Dodatkowo ubytki masy przeliczano na ubytki objętości i porównywano, wyniki z pomiarami uzyskanymi na kształtografie. Operacja ta umożliwiała ocenę ilości ścierniwa wbitego w materiał próbki.

Na rysunku 4 przedstawiono zależność zużycia od ilości materiału ściernego, stosując metodę najmniejszych kwadratów do aproksymacji prostą. Z wykresów tych wynika, że: materiały natryskiwane plazmowo mają wklęsłą krzywą zużycia, co dowodzi, że w miarę zużywania prędkość zużycia rośnie. Wskazuje to, że powierzchniowa warstwa powłoki jest bardziej spójna niż jej wnętrze.



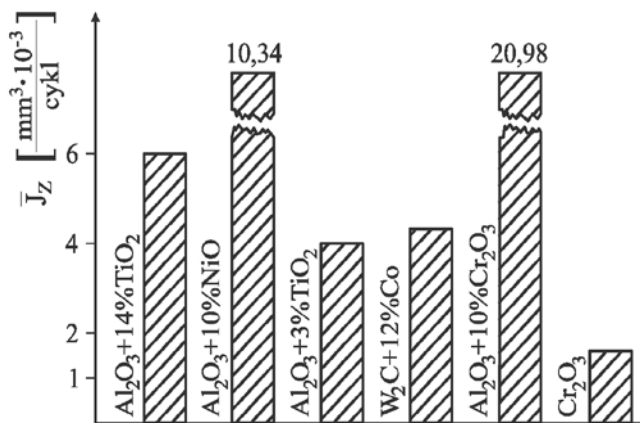
Rys. 3. Struktura i rozkład liniowy pierwiastków w powłoce $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\% \text{TiO}_2$ [2]

Fig. 3. Structure and EDS analysis of $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\% \text{TiO}_2$ coating [2]



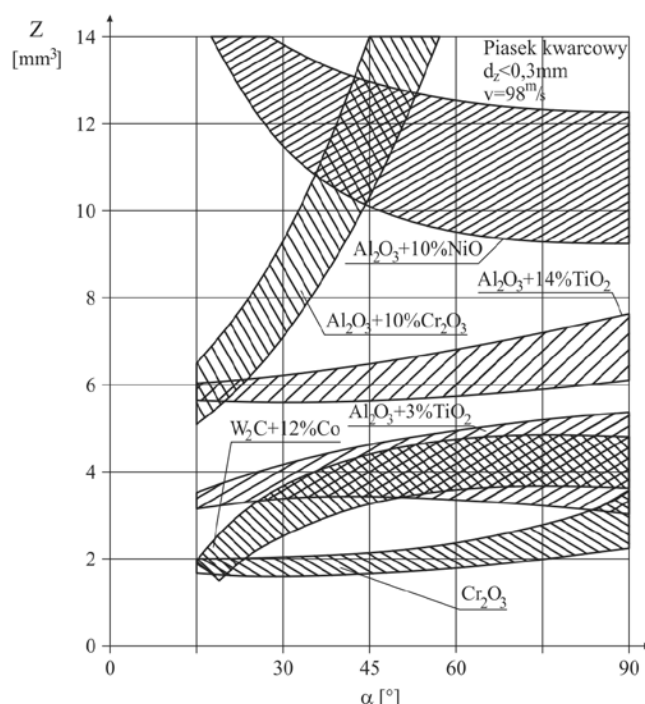
Rys. 4. Zależność zużycia erozyjnego powłok plazmowych od ilości zużytego ścierniwa

Fig. 4. Function of erosion wear of coating to the mass of consumed abrasive material



Rys. 5. Histogram prędkości erozyjnego zużycia $\alpha = 90^\circ$ powłok plazmowych

Fig. 5. Bar chart of erosion wear velocity of plasma transferred arc coating, $\alpha = 90^\circ$



Rys. 6. Zależność zużycia powłok plazmowych od kąta padania strugi

Fig. 6. Function of plasma transferred arc coating and the angle of abrasive metal stream

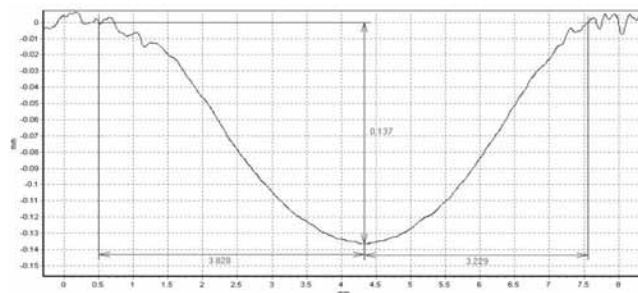
Przedstawione na rysunku 5 histogramy prędkości zużycia pozwalają stwierdzić, że spośród badanych powłok plazmowych najwyższą odporność na zużycie mają powłoki z Cr_2O_3 .

Analizując przebieg zużycia w zależności od kąta padania strugi ścierniwa można stwierdzić, że powłoki plazmowe zachowują się jak materiały kruche, tzn. że wzrostem kąta padania ścierniwa zużycie rośnie (rys. 6). Wyjątek stanowi powłoka z tlenku glinu z 10% dodatkiem tlenku niklu, dla której zużycie wraz ze wzrostem kąta maleje.

Odporność na zużycie ścierne

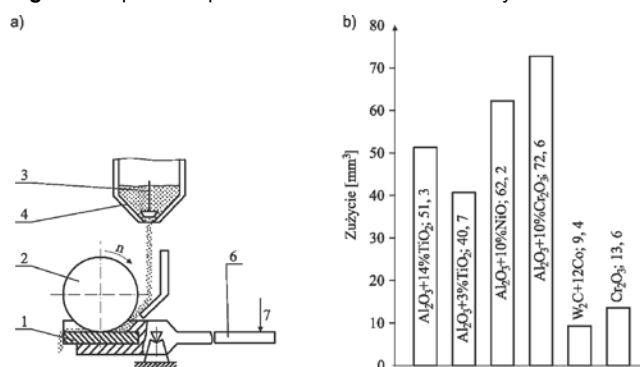
Badania przeprowadzono na urządzeniu testowym T-07 umożliwiającym oznaczenie ścieralności materiałów zgodnie z normą ASTM G6585 (rys. 8a) [1]. Testowy węzeł tarcia tworzy płytka 1 stykająca się z luźnym ścierniwem, doprowadzonym do strefy styku ze zbiornika 4 oraz przez dozownik 3 i ogumioną rolkę 2. Obciążenie styku zapewnia dźwignia 6 z obciążnikiem 7. Rolka 2 osadzona na wałku napędzana jest silnikiem elektrycznym przez przekładnię pasową i przekładnię zębatą. Aparatura kontrolno-pomiarowa testera ograniczona jest do układu zliczającego obroty rolki i wyłączającego silnik po wykonaniu zadanej liczby obrotów. Badano próbki z powłokami natrykiwanymi plazmowo z Al_2O_3 , Cr_2O_3 oraz W_2C (płytką C45 30X30X2). Grubość powłok po szlifowaniu powierzchni wynosiła 0,3 mm. Obciążenie styku wynosiło 22 N, prędkość obrotowa rolki 60 obr/min, jako ścierniwo stosowano elektrokorund EB ziarno 14.

Zużycie próbek mierzono dwoma metodami, przez pomiar ubytku masy próbki oraz obliczenie ubytku objętości na podstawie pomiarów profili śladu zużycia (rys. 7). Do tej ostatniej metody wykorzystano kształtograf PG 2-200 z przystawką do pomiarów przestrzennych 3D. Wyniki pomiarów przeliczone na ubytki objętości badanych materiałów przedstawiono na rysunku 8b.



Rys. 7. Profil śladu zużycia próbki – kształtograf PD 2-200

Fig. 7. Sample wear profile – PD 2-200 surface analyzer



Rys. 8. Testowy węzeł tarcia (a) oraz zużycie przy tarcu w obecności ścierniwa; 1 – próbka, 2 – płytka – ogumiona rolka, 3 – zawór dozujący ścierniwo, 4 – zasobnik ze ścierniwem, 5 – kierownica, 6 – ramię dźwigni obciążającej, 7 – obciążnik

Fig. 8. Friction test node and wear at the friction in the presence of abrasives, 1 – sample, 2 – rubberized roller, 3 – abrasive metering valve, 4 – tray with abrasive, 5 – steering wheel, 6 – loading lever arm, 7 – the weight

Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwalają przedstawić następujące wnioski:

- zaprezentowana metodyka badań umożliwia szybkie i wiarygodne uszeregowanie materiałów pod kątem ich odporności na zużycie erozyjne,
- powłoki z materiałów ceramicznych natrykiwane plazmowo podczas zużycia erozyjnego zachowują się jak materiały kruche, przebieg zużycia wskazuje, że warstwa wierzchnia powłoki jest bardziej odporna na zużycie niż wnętrze powłoki z wyjątkiem powłoki $\text{Al}_2\text{O}_3 + 14\% \text{TiO}_2$,
- wzrost kąta padania strugi ściernej w zakresie od 15° do 90° powoduje intensyfikację procesów zużyciowych, wyjątek stanowi powłoka z $\text{Al}_2\text{O}_3 + 10\% \text{NiO}$,
- spośród badanych materiałów najwyższą odporność na zużycie erozyjne wykazywał Cr_2O_3 jako najbardziej twardy materiał i $\text{W}_2\text{C} + 12\% \text{Co}$ jako materiał łączący właściwości twardych odpor-nych na ścieranie węglików z miękką i plastyczną osnową kobaltową.

Literatura

- [1] Tribologia i trybotechnika – redakcja naukowa Marian Szczerek, Marek Wiśniewski, Wydawnictwo ITE Radom 2000.
- [2] Kulu P., Hussainova I., Veinthal R.: Solid particle erosion of thermal sprayed coatings, *Wear* 258 (2005), s. 488–496.
- [3] L. Pawlowski, *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings*, John Wiley & Sons Ltd., London, 1995.

Artykuł współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego projektu „INWENCJA – Potencjał młodych naukowców oraz transfer wiedzy i innowacji wsparciem dla kluczowych dziedzin świętokrzyskiej gospodarki”.

Laureat Medalu St. Olszewskiego

Mgr inż. Roman Andrzejczak

Ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn i Okrętów Politechniki Szczecińskiej w 1974 r. W latach 1973-1982 był zatrudniony na Politechnice Szczecińskiej w Zakładzie Spawalnictwa na stanowisku asystenta, st. asystenta, gdzie prowadził zajęcia z: technologii spawalnictwa, kontroli jakości, wytwarzania konstrukcji stalowych, materiałoznawstwa. W latach 1982-1984 był specjalistą technologiemi ds. spawalnictwa w zakładzie ZREMB Gorzów Wlkp. Z firmą ZREMB Famabud Szczecin był związany jako Główny Spawalnik i zastępca Głównego Technologa (1984-1991). Jego największym osiągnięciem zawodowym, było znaczne rozszerzenie oferty produkcyjnej firmy (produkującej wcześniej tylko jeden typ żurawia budowlanego), m.in.: segment kolejowy – podwozia wagonów, zestawy kołowe itp., żurawie wieżowe, osprzęt do urządzeń podnośnych (chwytyki, trawersy) oraz inne dla indywidualne potrzeby klientów. W latach 1991-2006 był współwłaścicielem, wiceprezesem ds. spraw technicznych i głównym spawalnikiem firmy TECHKON Szczecin. Zorganizował od podstaw wytwórnię konstrukcji stalowych, która przez 15 lat wykonywała wysokiej jakości, skomplikowane konstrukcje, często z projektowaniem i pod nadzorem UDT lub TDT. W 2006 r. specjalistą ds. kontaktów zewnętrznych w firmie REMECH Police. Skutecznie wprowadził firmę (spółkę-córkę Zakładów Chemicznych Police) na rynek zewnętrzny konstrukcji stalowych. Natomiast od 2007 r. gł. spawalnikiem, kierownik Działu Kontroli Jako-

ści oraz inżynier projektu w zakładzie INKOS w Jasienica k. Szczecina.

Mgr inż. Roman Andrzejczak jest autorem kilkunastu eksperymentów technicznych, które wykonał jako rzeczoznawca ZORPOT, przez cały okres działalności zawodowej szkolił i egzaminował spawaczy oraz przeprowadzał nadzór mistrzowski i bezpośredni. Na Politechnice Szczecińskiej miał otwarty przewód doktorski (1978) nt. „Zjawisk łukowych przy spawaniu elektrodą taśmową w osłonach gazowych”, przerwany z powodu odejścia z uczelni. Jest autorem 8 wdrożonych w przemyśle projektów wynalazczych.

Jest członkiem SIMP i Sekcji Spawalniczej od 1973 r., wieloletnim członkiem Zarządu O/Sekcji, przez jedną kadencję członek ZG Sekcji Spawalniczej (I połowa lat 90), w ramach działalności Sekcji wygłosił 6 odczytów oraz zorganizował wycieczkę techniczną do ZREMB Famabud dla członków Sekcji. Jest współautorem 2 publikacji wydanych w materiałach konferencyjnych (i wygłoszonych w postaci referatów przez doc. Kłosowskiego), powstałych w okresie asystentury, na podstawie prowadzonych prac naukowo-badawczych.

W okresie pracy na Politechnice Szczecińskiej został wyróżniony: czterema nagrodami Rektora Politechniki Szczecińskiej (1976, 1997, 1998, 1979), jedną nagrodą Ministra Nauki, Techniki i Szkolnictwa Wyższego (1976) oraz jedną nagrodą Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Okrętów Politechniki Szczecińskiej (1975).