

Mikrostruktura i odporność na zużycie powłok natryskiwanych metodą płomieniowo-proszkową mieszaninami proszków

Microstructure and wear resistance of flame sprayed with the powder mixture coatings

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań mikrostruktury, struktury geometrycznej powierzchni oraz składu fazowego powłok natryskiwanych metodą płomieniowo-proszkową mieszaniną proszków AMI 3001.2 i UTP Exobond 2005. Wyznaczono parametry struktury geometrycznej i obliczono wymiary fraktalne profili powierzchni. Wykonano badania zużycia ściernego i erozyjnego powłok. Powłoki o wysokiej chropowatości wykazywały dużą odporność na zużycie ściernie. Wartość zużycia zależy od składu powłoki, struktury stereometrycznej oraz właściwości powierzchni rozdziału ziaren. Powłoki zawierające 30÷60% mas. UTP Exobond 2005 wykazują niższą wartość zużycia ściernego niż powłoki wykonane z materiałów bazowych. Intensywność erozji powłok cermetalowych zawierających poniżej 50% mas. UTP Exobond 2005 jest mniejsza niż intensywność erozji powłoki natryskiwanej UTP Exobond 2005.

Abstract

The paper presents results of investigations into microstructure, geometrical structure of the surface and phase composition of coatings flame sprayed with the mixture of AMI 3001.2 and UTP Exobond 2005 powders. Fractal dimensions and roughness parameters were evaluated. The tests of abrasive and erosive wear were done. High resistance to abrasion was revealed by high roughness coatings. Wear loss of coatings depends on coating composition, stereometric structure of the surface and intersplat surface properties. Coatings containing 30÷60% wt. UTP Exobond 2005 reveal lower wear loss in abrasion test compared to that of coatings performed from basic powders. Erosion intensity of cermet coatings containing less than 50% wt. UTP Exobond 2005 is lower than for coating sprayed with UTP Exobond 2005.

Wstęp

Na ścieranie powierzchni materiału przez twarde cząstki mają wpływ mikromechanizmy zużywania: bruzdowanie – gdy objętość spęczzonego materiału jest równa objętości powstałej rysy, mikroskrawanie

– gdy powstają wiórki materiału, mikropęknięcie – gdy nacisk cząstek ścierniwa jest wystarczająco wysoki, aby spowodować powstanie systemu pęknięć oraz mikrozłamanie spowodowane wielokrotnym spęczaniem tej samej objętości materiału. Odporność na zużycie czystych metali jest wprost proporcjonalna do ich twardości, natomiast w przypadku stali obrobionych cieplnie wpływ twardości jest niższy. W większości modeli teoretycznych procesu zużycia ściernego materiałów kruchych zakłada się, że rozważana objętość materiału ulega usunięciu, gdy utworzone pęknięcia podpowierzchniowe przetną się lub gdy osiągną powierzchnię materiału. Zależności teoretyczne

Dr hab. Tadeusz Hejwowski, prof. PL, mgr inż. Anna Łabacz-Kęcik – Politechnika Lubelska.

opisujące odporność na zużycie materiału kruchego zawierają z reguły kilka wielkości charakteryzujących właściwości mechaniczne materiału, w tym twardość oraz odporność na pękanie [1, 2].

Mechanizmem zużywania erozyjnego materiałów plastycznych przez cząstki stałe dla kątów padania cząstki stycznych do powierzchni jest mikroskrwanie, a dla kątów padania zbliżonych do normalnego do powierzchni – pękanie warstwy materiału utworzonej przez mikroprzekucie lub ekstruzję. Intensywność erozji metali wykazuje maksimum dla kątów padania w zakresie $20\div 30^\circ$, mierzonych pomiędzy kierunkiem padania cząstki i powierzchnią materiału. Uszkodzenie erozyjne materiałów kruchych jest związane z powstawaniem pęknięć w erodowanym materiale [2].

W przypadku zużywania erozyjnego lub ściernego materiałów wielofazowych stosuje się zasady sumowania uszkodzeń, które opisują zużycie zależnością zawierającą udziały objętościowe faz oraz ich intensywności zużycia [3].

Obiecującymi materiałami do zastosowania na elementy ulegające zużyciu erozyjno-ściernemu są natryskiwane powłoki kompozytowe NiCr-WC [4, 5] oraz NiCr-Cr₃C₂ [6]. Mechanizm zużywania powłok natryskiwanych jest trudny do opisu ze względu na ich budowę, obecność pęknięć w ziarnach, naprężeń własnych i niejednorodności w składzie chemicznym i fazowym ziaren. Można wyróżnić następujące mechanizmy zużywania powłoki:

- mikroskrwanie oraz mikroźłobienie,
- pękanie ziaren,
- oddzielanie ziaren wskutek pękania na powierzchni rozdzielającej ziarna.

Jeśli kohezja materiału powłoki jest niska, to uszkodzenie powstałe w procesie zużycia ziarna może spowodować jego usunięcie z powłoki. Istotnym czynnikiem wpływającym na intensywność zużycia jest stosunek wielkości ziarna ścierniwa do wielkości ziarna powłoki. Maksimum odporności na zużycie materiału kompozytowego obserwuje się często dla pośrednich składów, przykładowo dla kompozytu WC-Co przy zawartości WC wynoszącej $80\div 90\%$ mas. [7].

Celem pracy było zbadanie mikrostruktury, struktury powierzchni oraz odporności na zużycie powłoki natryskiwanej metodą płomieniowo-proszkową mieszaniną proszków AMI 3001.2 (NiCr 80/20) i UTP Exobond 2005 (WC w osnowie stopu Ni).

Metodyka badań

Podkładki ze stali S235JR przed natryskiwaniem poddano obróbce strumieniowo-ścierniej luźnym ścierniwem korundowym o wielkości ziarna 70 z wykorzystaniem własnego stanowiska do piaskowania. Chropowatość przygotowanej powierzchni zmierzona w przypadkowo wybranych miejscach płyty próbnej wynosiła $5\div 7\ \mu\text{m}$. Powłoki wykonano metodą natryskiwania płomieniowo-proszkowego poddźwiękowego

palnikiem UNI-SPRAY-JET firmy Amil. Warstwę wiążącą natryskiwano proszkiem AMI 3001.2, NiCr 80/20 (Cr = 20,2%; Fe = 0,45%; Si = 1,2%; Mn = 1,3%; C = 0,15%; Ni – reszta) o wielkości ziarna $-90 + 45\ \mu\text{m}$.

Warstwę odporną na zużycie natryskiwano mieszaniną proszków AMI 3001.2 (proszek A) i UTP Exobond 2005 (C = 0,8%; Si = 2,25%; Fe = 1,6%; W = 14,4%; Cr = 8%; B = 1%; Al = 0,25%; Ni – reszta) (proszek B) o wielkości ziarna $-106 + 36\ \mu\text{m}$. Przygotowaną mieszaninę proszków podawano w strumieniu argonu z własnego podajnika fluidalnego. Parametry natryskiwania powłok z mieszaniny proszków były zgodne z zalecanymi do natryskiwania powłoki z proszku AMI 9120: dysza do natryskiwania USJ-N, dysza systemu podawania proszku N, ciśnienie tlenu 0,03 MPa, ciśnienie acetylenu 0,07 MPa, położenie zaworu acetylenu N, położenie zaworu dozowania proszku H, odległość natryskiwania 180 mm. Przyczepność powłoki dwuwarstwowej AMI 3001.2/UTP Exobond 2005 natryskiwanej w podanych warunkach, zmierzona zgodnie z normą DIN EN 582, wyniosła 41,6 MPa. Grubość warstwy wiążącej wynosiła ok. 0,2 mm, grubość warstwy odpornej na zużycie – ok. 0,3 mm. Proszek UTP Exobond 2005 jest stosowany do wytwarzania powłok o wysokiej odporności na zużycie oraz korozję. Zalecany jest do nakładania na powierzchnie łopatek wentylatorów w celu zabezpieczenia przed erozją powodowaną przez cząstki o niewielkich rozmiarach. Materiał AMI 3001.2 jest stosowany do wytwarzania powłok odpornych na korozję i utlenianie oraz do wytwarzania warstw podkładowych pod natryskiwane powłoki ceramiczne.

Z natryskiwanych płyt próbnych wycięto próbki do badań zużycia, chropowatości oraz do badań mikrostrukturalnych. Próbki przeznaczone do badań mikrostrukturalnych impregnowano żywicą epoksydową przed cięciem na przecinarce metalograficznej. Zgłady metalograficzne przygotowano z wykorzystaniem szlifierko-polerki Buehler MetaServ z głowicą Vector LC250. Fotografie zgładów metalograficznych wykonano za pomocą mikroskopu optycznego Nikon Eclipse MA100 wyposażonego w kamerę cyfrową.

Badania metalograficzne ilościowe wykonano za pomocą programu Image J. Analizowano 10 zdjęć mikrostruktury dla każdej powłoki. W celu poprawy jakości obrazu zastosowano filtr medianowy. Segmentację obrazu wykonano metodą podwójnego progowania. Program zliczał liczbę pikseli o stopniach szarości 0 oraz 255. Wykonano również badania powierzchni powłok na mikroskopie skaningowym Zeiss Ultra Plus.

Pomiary mikrotwardości wykonano na mikroskopie Neophot 2 wyposażonym w przystawkę do pomiaru metodą Hanemanna. Obciążenie wgłębniaka wynosiło 450 mN.

Analizę składu fazowego wykonano za pomocą dyfraktometru rentgenowskiego HZG-4. Wykorzystano promieniowanie CuK_α. Dane pomiarowe były zbierane i opracowywane przy użyciu programu XRAYAN.

Pomiary chropowatości wykonano na przyrządzie do pomiaru kształtów i chropowatości Form Talysurf 120 Inductive firmy Taylor Hobson. Końcówkę pomiarową stanowił diament w kształcie stożka o kącie wierzchołkowym 90° i promieniu zaokrąglenia ostrza $2 \mu\text{m}$. Do analizy fraktalnej wykorzystano programy Benoit 1.3 i Tisean.

Badania nanotwardości wykonano za pomocą nanotwardościomierza CSM NHT. Maksymalne obciążenie węgelnika Vickersa wynosiło 150 mN , czas utrzymywania stałego obciążenia był równy 10 s . Moduł Younga został obliczony z wykorzystaniem modelu Olivera Pharra przy założeniu wartości współczynnika Poissona $\nu = 0,3$.

Badania erozyjne wykonano na własnym stanowisku badawczym, w którym ścierniwo przyspieszano w dyszy zasilanej sprężonym powietrzem. Wykorzystano mieliwo kwarcowe o wielkości ziaren $< 0,1 \text{ mm}$. Prędkość cząstek ścierniwa zmierzona metodą dwóch tarcz wynosiła 61 m/s . Dla każdej powłoki badania powtarzano 3-krotnie. Określano stosunek ubytku masy próbki do masy ścierniwa wykorzystanego w teście.

Badania ścieralności wykonano za pomocą testera T07. Siła docisku próbki do pokrytej gumą rolki – przeciwpróbki wynosiła 22 N , czas testu ograniczono do 180 s , aby nie spowodować perforacji powłoki. Zmierzony ubytki masy odnoszono do próbki kontrolnej wykonanej ze stali S235JR, badanej w identycznych warunkach. Dla każdej powłoki badania powtarzano 3-krotnie.

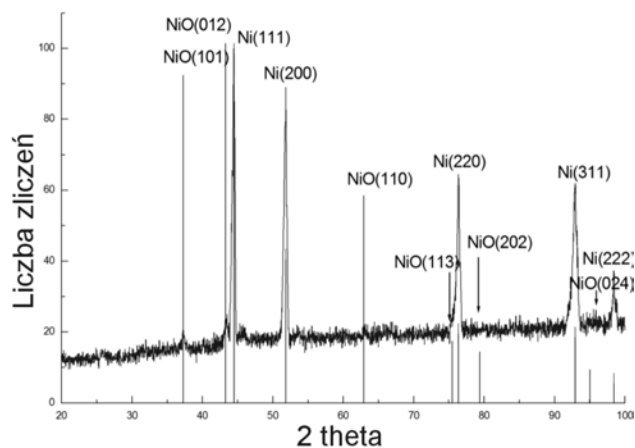
Wyniki badań i dyskusja

Dyfraktogramy otrzymane w badaniach składu fazowego powłok natrykiwanych przedstawiono na rysunkach 1÷3. Badania składu fazowego powłoki natrykiwanej proszkiem AMI 3001.2 ujawniły głównie roztwór stały niklu krystalizujący w układzie regularnym powierzchniowo centrowanym. Stwierdzono również obecność NiO w układzie heksagonalnym. Uzyskane wyniki są zbieżne z pracą [8].

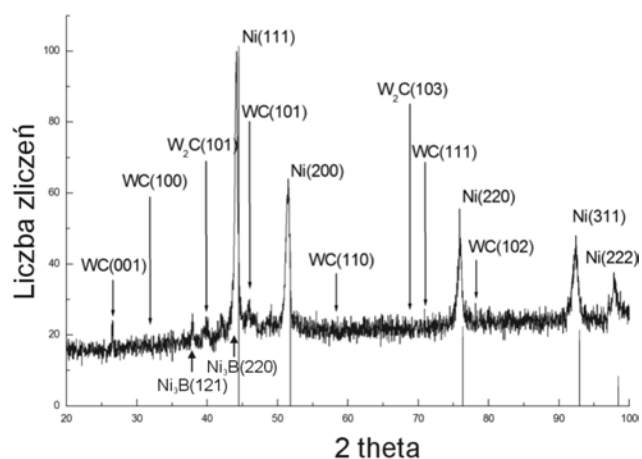
Mikrostruktura powłoki natrykiwanej proszkiem UTP Exobond 2005 zawiera roztwór stały niklu, cząstki węglików WC i W_2C oraz wydzielenia boru Ni_3B . Wyniki badań są zbieżne z podanymi w pracy [9].

Dyfraktogram powłoki natrykiwanej mieszaniną proszków zawierającą 60% UTP Exobond 2005 jest superpozycją dyfraktogramów przedstawionych na rysunku 1 i 2. Nie stwierdzono pojawienia się nowych faz.

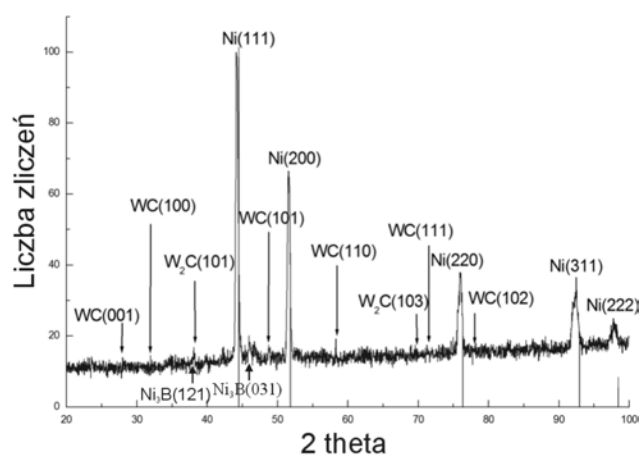
Mikrostrukturę powłoki natrykiwanej mieszaniną proszków zawierającą 40% UTP Exobond 2005 pokazano na rysunku 4. Widoczna jest znaczna porowatość powłoki. Można zauważyć w powłoce cząstki, które podczas natrykiwania osiągnęły powierzchnię w stanie stałym, co obniża kohezję powłoki. Proszki wykorzystane do natrykiwania różnią się znacznie właściwościami, np. temperatura topnienia proszku



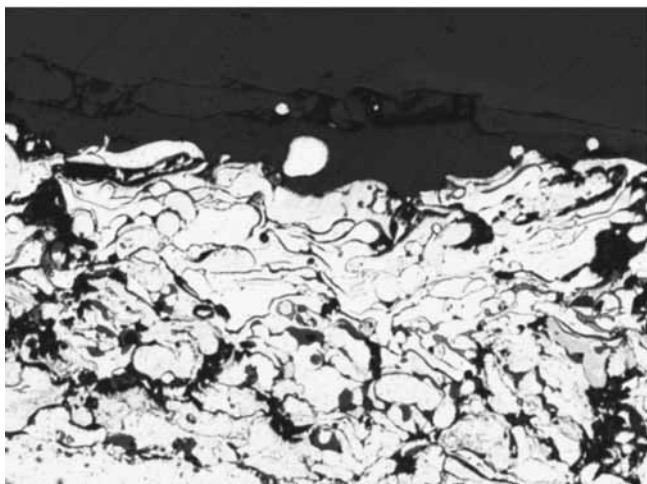
Rys. 1. Dyfraktogram powłoki natrykiwanej proszkiem AMI 3001.2
Fig. 1. XRD pattern of coating sprayed with AMI 3001.2



Rys. 2. Dyfraktogram powłoki natrykiwanej proszkiem UTP Exobond 2005
Fig. 2. XRD pattern of coating sprayed with UTP Exobond 2005 powder

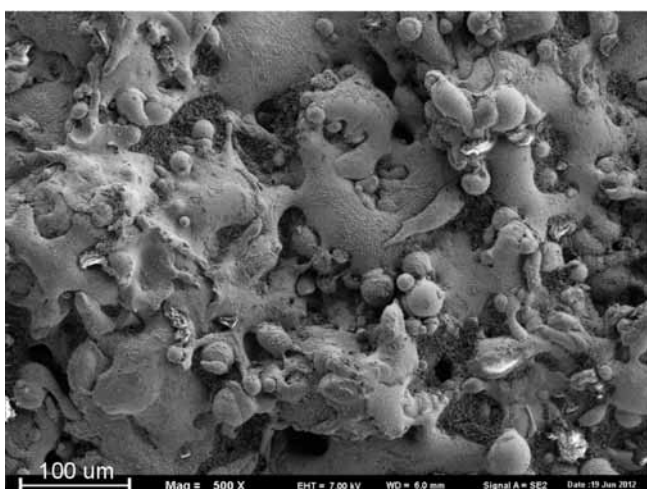


Rys. 3. Dyfraktogram powłoki natrykiwanej mieszaniną proszków zawierającą 60% mas. UTP Exobond 2005
Fig. 3. XRD pattern of coating sprayed with the mixture containing 60 wt% UTP Exobond 2005



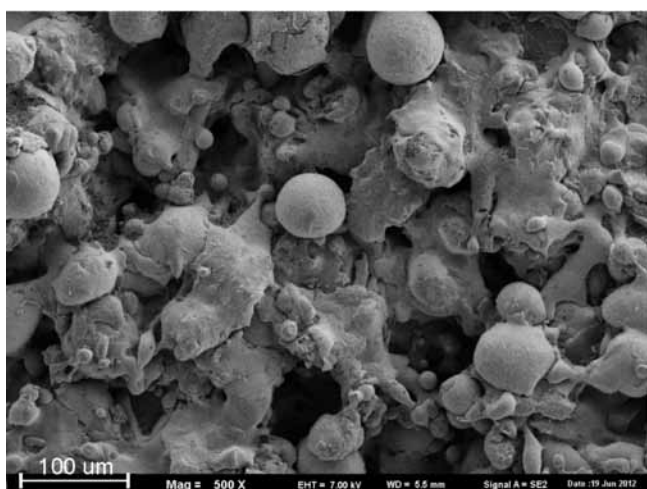
Rys. 4. Mikrostruktura powłoki natryskiwanej mieszaniną zawierającą 40% mas. UTP Exobond 2005, 120x

Fig. 4. Microstructure of coating sprayed with the mixture containing 40 wt. % UTP Exobond 2005, magn. 120x



Rys. 5. Powierzchnia powłoki natryskiwanej proszkiem UTP Exobond 2005, SEM

Fig. 5. Appearance of coating surface sprayed with UTP Exobond 2005, SEM



Rys. 6. Powłoka natryskiwana mieszaniną proszków zawierającą 40% mas. UTP Exobond 2005, SEM

Fig. 6. Appearance of coating surface sprayed with the mixture containing 40 wt. % UTP Exobond 2005, SEM

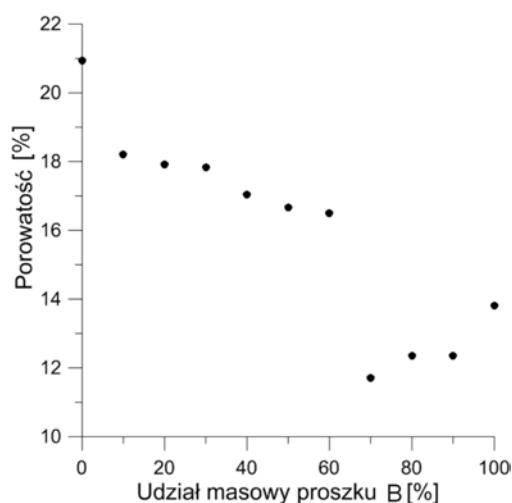
UTP Exobond 2005 wynosi ok. 1050°C, a proszku AMI 3001.2 – 1420°C. Może to być przyczyną zwiększenia chropowatości dla pośrednich składów mieszanin proszkowych. Stwierdzono w niektórych powłokach występowanie porów lub pęknięć sięgających warstwy wiążącej, których prawdopodobną przyczyną były naprężenia powstałe podczas formowania lub stygnięcia powłoki.

Wygląd powierzchni powłoki natryskiwanej proszkiem UTP Exobond 2005 przedstawiono na rysunku 5. Obraz jest typowy dla powłok natryskiwanych. Obserwuje się niewielki udział porowatości otwartej. Wygląd sugeruje dobrą kohezję powłoki. Nie występują pęknięcia w powłoce.

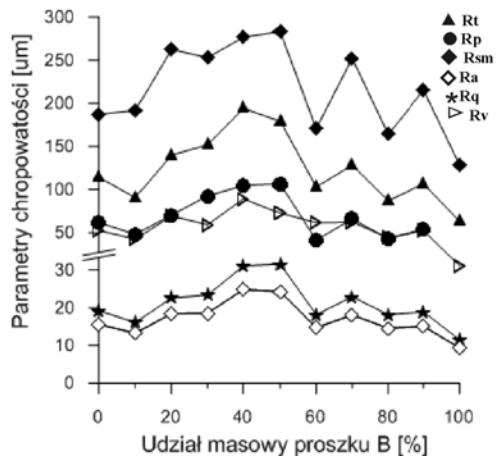
Powierzchnia powłoki natryskiwanej mieszaniną proszków zawierającą 40% mas. UTP Exobond 2005 ma wyższy w porównaniu do poprzedniej powłoki udział porowatości otwartej (rys. 6). Wygląd sugeruje niższą kohezję powłoki. Widoczne są cząstki o kształcie sferycznym, które podczas natryskiwania nie były stopione. Można zauważyć pęknięcia ziaren powłoki.

Na rysunku 7 przedstawiono zależność porowatości powłoki od udziału masowego proszku UTP Exobond 2005 w mieszaninie. Najwyższą porowatość 20,93% stwierdzono dla powłoki natryskiwanej proszkiem NiCr. Porowatość powłoki natryskiwanej proszkiem UTP 2005 wynosi 13,8%. Zwiększenie udziału masowego proszku UTP 2005 do zawartości 70% powoduje obniżenie porowatości do wartości 12,4%.

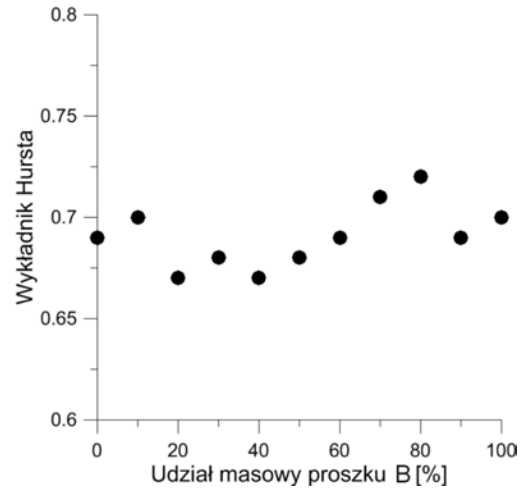
Zależność parametrów struktury geometrycznej powierzchni powłok od udziału masowego proszku UTP 2005 przedstawiono na rysunku 8. Najwyższe wartości odpowiadają zawartości proszku UTP Exobond 2005 w zakresie 40÷50%. Najniższa wartość $R_a = 9,3 \mu\text{m}$ odpowiada powłoce natryskiwanej proszkiem UTP Exobond 2005, a dla powłoki natryskiwanej AMI 3001.2 $R_a = 15,6 \mu\text{m}$. Najwyższą wartość $R_a = 24,9 \mu\text{m}$ stwierdzono dla powłoki zawierającej 40% mas. UTP Exobond 2005. Wszystkie parametry chropowatości wykazywały podobne zależności od składu mieszaniny.



Rys. 7. Zależność porowatości od składu powłoki
Fig. 7. Dependence of porosity on coating composition



Rys. 8. Zależność parametrów chropowatości od składu powłoki
Fig. 8. Dependence of roughness parameters on coating composition



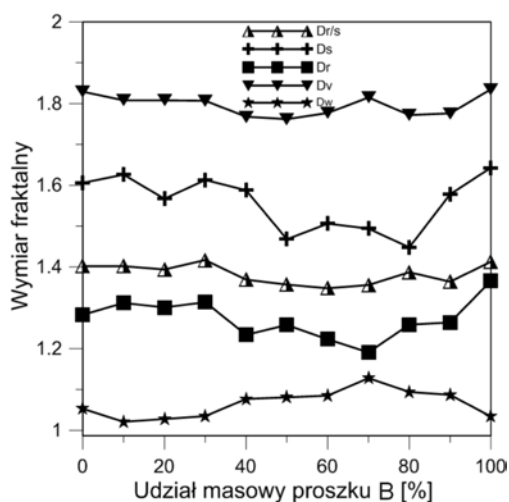
Rys. 10. Zależność wykładnika Hursta od składu powłoki
Fig. 10. Dependence of Hurst exponent on coating composition

Analiza fraktalna może być uważana za metodę opisu struktury powierzchni komplementarną w stosunku do tradycyjnych metod wyznaczania parametrów chropowatości. Metody fraktalne są stosowane z powodzeniem do opisu mikrostruktury materiałów oraz w badaniach mechanizmu zużycia. Na przykład, analiza fraktalna może być także stosowana w celu scharakteryzowania układu porów w materiałach [10], określania wpływu kształtu wydzieleni grafitu na właściwości mechaniczne żeliwa ciągliwego [11], określenia związku pomiędzy odpornością na pękanie stali i strukturą powierzchni przelomu [12], czy też wpływu struktury powierzchni na twardość powłok Ti + Ti(C,N) nanoszonych metodą magnetronową [13]. Stwierdzono, że analiza fraktalna konturu cząstek zużycia umożliwia identyfikację jego rodzaju i diagnostykę stanu węzła tarcia [14].

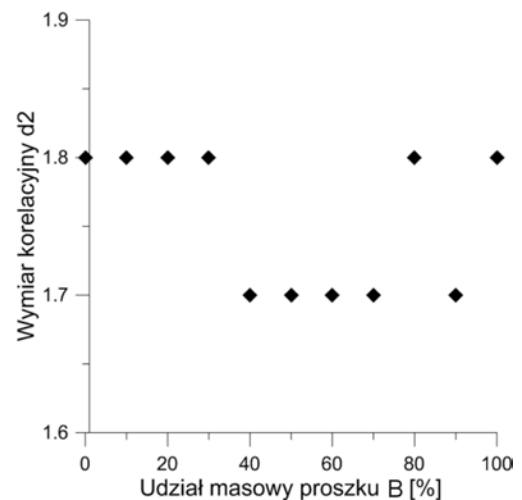
Metody analizy fraktalnej znalazły także zastosowanie do opisu właściwości powłok natrykiwanych. Przyczepność natrykiwanych powłok ceramicznych

zależy od właściwości powierzchni natrykiwanej. W pracach [15, 16] przedstawiono związek pomiędzy przyczepnością i parametrami fraktalnymi opisującymi natrykiwaną powierzchnię. Wymiary fraktalne określono następującymi metodami: analizy R/S (D_r/s), *power spectrum* (D_s), *roughness-length* (D_r), metodą wariogramu (D_v) oraz metodą *wavelets* (D_w). Wymiar korelacyjny d_2 określono metodami AMI (*Average Mutual Information*) oraz FNM (*False Nearest Neighbours Method*). Analizy fraktalne wykonano za pomocą programów Benoit 1.3 i Tisean na plikach współrzędnych punktów profilu zapisanych przy użyciu przyrządu Form Talysurf 120 Inductive. Wyniki analizy przedstawiono na rysunkach 9÷11.

Maksymalna wartość wykładnika Hursta odpowiada zawartości proszku UTP Exobond 2005 w powłoce równej 80%. Wartości minimalne wymiaru korelacyjnego odpowiadają zawartościom UTP Exobond 2005 w zakresie 40÷70%. Nie stwierdza się zależności pomiędzy wartością intensywności erozji lub odpornością



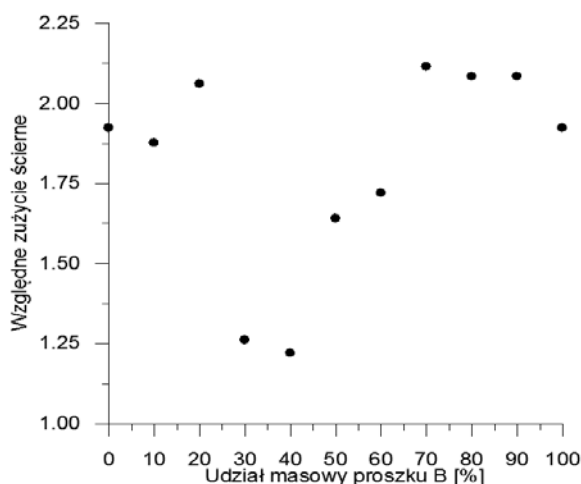
Rys. 9. Zależność wartości wymiarów fraktalnych od składu powłoki
Fig. 9. Dependence of fractal dimensions on coating composition



Rys. 11. Zależność wymiaru korelacyjnego od składu powłoki
Fig. 11. Dependence of correlation dimensions on coating composition

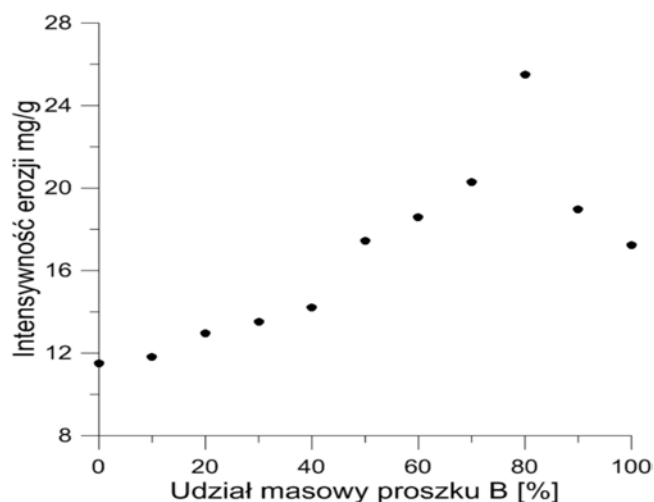
Tablica. Wyniki badań twardości powłok
Table. Results of hardness measurements

Powłoka	Nanotwardość, HV		Mikrotwardość, HV		Moduł Younga, GPa	
	zakres	wartość średnia	zakres	wartość średnia	zakres	wartość średnia
AMI 3001.2	258,2÷424,7	336,0	221÷465	296	67,2÷114,8	93,2
UTP Exobond 2005	374,7÷1043,2	698,3	206,6÷726	478,8	101,31÷146,98	121,4



Rys. 12. Zależność względnego zużycia ściernego od zawartości proszku UTP Exobond 2005

Fig. 12. Dependence relative abrasive wear loss on the content of UTP Exobond 2005 powder



Rys. 13. Zależność intensywności erozji od zawartości proszku UTP Exobond 2005

Fig. 13. Dependence of erosion intensity on the content of UTP Exobond 2005 powder

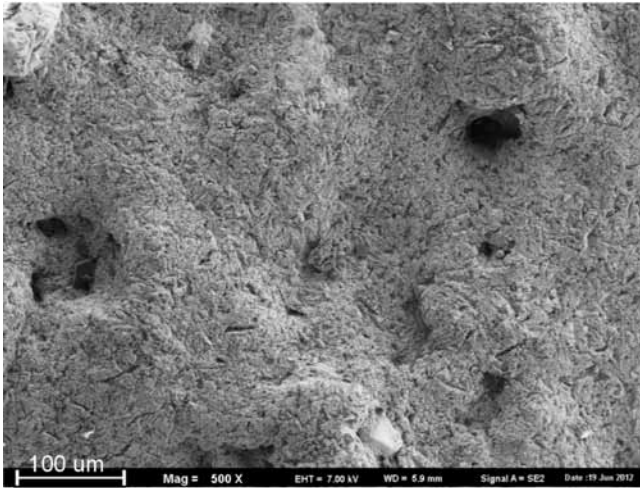
na zużycie ściernie a parametrami obliczonymi metodami analizy fraktalnej. Wykazano słabszą niż w przypadku klasycznych parametrów opisujących strukturę powierzchni zależność od składu proszku stosowanego do natryskiwania. Wymiary fraktalne wykazują różne zależności od składu proszków stosowanych do natryskiwania. Wadą metody stykowej pomiaru chropowatości jest odkształcanie ziaren powłoki pomiarową przez przemieszczającą się końcówkę pomiarową oraz rozmiar końcówki pomiarowej uniemożliwiający wnikięcie w małe zagłębienia, co niewątpliwie miało wpływ na uzyskane wartości parametrów chropowatości i wyniki analiz fraktalnych. Wyniki badań mikrotwardości i nanotwardości podano w tablicy. Pomiar mikrotwardości i nanotwardości wykonano na zgładach poprzecznych powłok natryskiwanych proszkami AMI 3001.2, UTP Exobond 2005 oraz na powłokach o składach pośrednich. Ze względu na częściowe pokrywanie się zakresów twardości ziaren natrykiwanych tymi materiałami, w tablicy I podano wyniki otrzymane dla powłok wykonanych z materiałów bazowych. W celu określenia zakresu twardości wykonano 20 pomiarów. Stosunkowo duże zakresy mierzonych właściwości są związane z występującymi w powłoce naprężeniami własnymi oraz niejednorodnością składu chemicznego i fazowego.

Wartość względnego zużycia ściernego zależy zarówno od składu chemicznego powłoki, jak i porowatości, budowy granic ziaren oraz obecności pęknięć. Powłoki natrykiwane mieszaniną proszków zawierającą 30÷60% UTP Exobond 2005 wykazywały mniejszą wartość zużycia względnego niż powłoki natrykiwane

proszkami AMI 3001.2 lub UTP Exobond 2005. Nie stwierdzono wyraźnej zależności zużycia względnego od porowatości. Wyższe odporności na ścieranie wykazują powłoki o większej chropowatości.

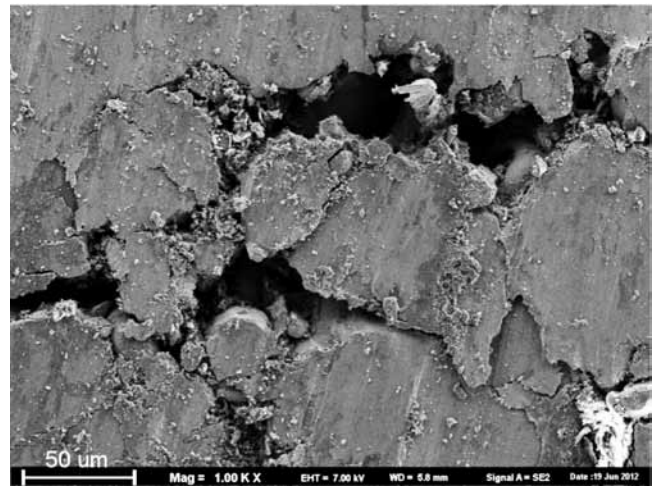
Wyniki badań zużycia powłok przedstawiono na rysunku 12 i 13.

Wyższą intensywność erozji stwierdzono dla powłoki natrykiwanej proszkiem UTP Exobond 2005 niż dla AMI 3001.2. Intensywność erozji osiągnęła maksymalną wartość dla powłoki zawierającej 80% proszku UTP Exobond 2005. Powłoki natrykiwane mieszaninami zawierającymi powyżej 50% mas. NiCr wykazują niższą intensywność erozji w porównaniu do powłoki natrykiwanej proszkiem UTP Exobond 2005. Badania erozyjne prowadzono dla kąta padania ziaren ścierniwa normalnego do powierzchni. W takich warunkach testu niską intensywność erozji wykazują materiały o niewielkiej twardości. Zwiększenie zawartości materiału AMI 3001.2 w powłoce powoduje obniżenie intensywności erozji ze względu na wzrost udziału ziaren plastycznych, ale jednocześnie zastosowanie mieszaniny znacząco różniących się właściwościami proszków do natryskiwania powoduje pogorszenie kohezji powłoki. Nie stwierdzono występowania związku pomiędzy intensywnością erozji i chropowatością powłok. Obserwacje zgładów poprzecznych powłok wykazały w niektórych powłokach obecność pęknięć i porowatości otwartej, nie stwierdzono jednak wyraźnego wpływu składu chemicznego powłoki na to zjawisko. Nie stwierdzono istotnej zależności pomiędzy występowaniem porowatości otwartej oraz pęknięciami



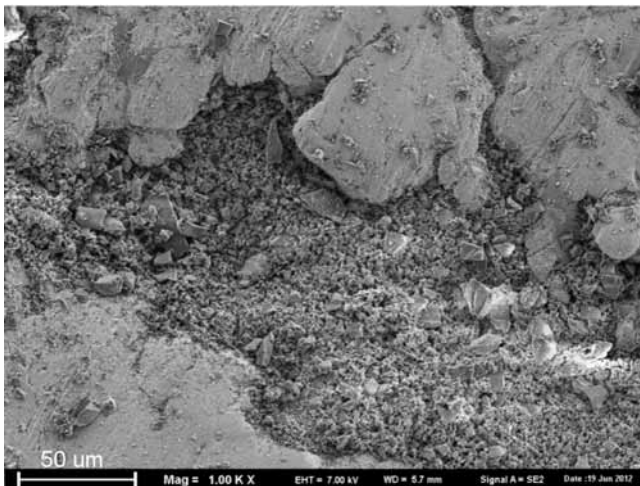
Rys. 14. Powierzchnia powłoki natryskiwanej UTP 2005 po erozji, SEM

Fig. 14. Surface of coating sprayed with UTP 2005 after erosion, SEM



Rys. 16. Powierzchnia powłoki natryskiwanej proszkiem AMI 3001.2 po badaniach ścieralności, SEM

Fig. 16. Surface of coating sprayed with AMI 3001.2 after abrasion test, SEM



Rys. 15. Powierzchnia powłoki natryskiwanej mieszaniną zawierającą 40% UTP 2005 po badaniach zużycia ściernego, SEM

Fig. 15. Surface of coating sprayed with the mixture containing 40 wt. % UTP 2005 after erosion test, SEM

w powłoce i wartościami intensywności erozji lub odporności na zużycie ścierne. Powierzchnie powłok po badaniach tribologicznych pokazano na rysunkach 14÷16.

Widok powierzchni powłoki (rys. 14) wskazuje, że podczas erozji następuje usuwanie jej nierówności. Można zauważyć wpływ porowatości powłoki na przebieg erozji.

Obraz powierzchni świadczy o wysokim udziale kruchej pęknięcia podczas erozji. Na powierzchni widać odsłonięte cząstki węgla wolframu. Twardość cząstek mielniwa kwarcowego wynosi ok. 1100 HV i jest niższa od twardości wydzieli węgla, który zostaje usunięty z materiału powłoki dopiero wskutek zużycia erozyjnego osnowy otaczającej węgiel.

Podczas testu ścieralności powłoki cermetalowej nastąpiło ścinanie nierówności powierzchni. Proces zużycia jest nasilony na granicy ziaren powłoki (rys. 15).

Podczas ścierania powłoki natryskiwanej proszkiem AMI 3001.2 następuje usuwanie nierówności powierzchni. Widok powierzchni sugeruje niską kohezję powłoki i możliwość usuwania dużych fragmentów ziaren podczas zużycia ściernego (rys. 16).

Wnioski

Wartość zużycia zależy od składu powłoki, struktury stereometrycznej powierzchni oraz właściwości powierzchni rozdziału ziaren. Powłoki o wysokiej chropowatości wykazywały niską wartość zużycia ściernego. Powłoki zawierające 30÷60% mas. UTP Exobond 2005 wykazują mniejsze zużycie ścierne

od powłok wykonanych z materiałów bazowych. Intensywność erozji powłok cermetalowych zawierających poniżej 50% mas. UTP Exobond 2005 jest niższa od intensywności erozji powłoki natryskiwanej UTP Exobond 2005.

Literatura

- [1] Zum Gahr K.-H.: Microstructure and wear of materials. Elsevier. Nowy Jork 1987.
- [2] Hejwowski T.: Studium procesów zużywania erozyjnego, ściernego i zmęczenia cieplnego elementów maszyn oraz kształtowanie struktur o korzystnych właściwościach eksploatacyjnych. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej 2003.
- [3] Hejwowski T.: Wpływ mikrostruktury i składu chemicznego stopów na osnowie żelaza na ich odporność na zużycie ścierne oraz erozyjne. Inżynieria Materiałowa 2 (2010).
- [4] Stack M.M., Chacon-Nava J., Jordan M.P.: Elevated temperature erosion of range of composite layers of Ni-Cr based functionally graded material. Materials Science and Technology 12 (1996).
- [5] Hoop P.J., Allen C.: The high temperature erosion of commercial thermally sprayed metallic and cermet coatings by solid particles. Wear 223-235 (1999).
- [6] Matthews S., James B., Hyland M.: The role of microstructure in the mechanism of high velocity erosion of Cr₃C₂-NiCr thermal spray coatings: Part I – As-sprayed coatings. Surface and Coatings Technology 203 (2009).
- [7] Pennefather R.C., Hankey S.E., Hutchings R. and Ball A.: Recent observations of the erosion of hard materials. Materials Science and Engineering A105/106 (1988).
- [8] Mahesh R.A., Jayaganthan R., Prakash S.: Microstructural characteristics and mechanical properties of HVOF sprayed NiCrAl coating on superalloys. Journal of Alloys and Compounds 468 (2009).
- [9] Lim L.C., Ming Q., Chen Z.D.: Microstructure of laser-clad Nickel-based hardfacing alloys. Surface and Coatings Technology 106 (1998).
- [10] Bernal J.L.P., Bello M.A.: Fractal geometry and mercury porosimetry. Comparison and application of proposed models on building stones. Applied Surface Science 185 (2001).
- [11] Li J., Lu L., Lai M.O.: Quantitative analysis of the irregularity of graphite nodules in cast iron. Materials Characterization 45 (2000).
- [12] Su Y., Lei W.-S.: Relationship between fracture toughness and fractal dimension of fracture surface of steel. International Journal of Fracture 106 (2000).
- [13] Kwaśny W., Dobrzański L.A., Pawlyta M., Gulbiński W.: Fractal nature of surface topography and physical properties of the coatings obtained using magnetron sputtering. Journal of Materials Processing Technology 157-158 (2004).
- [14] Wrona M.: Zastosowanie metod fraktalnych do analizy cząstek zużycia. Tribologia 2 (2003).
- [15] Amada S., Hirose T.: Planar fractal characteristics of blasted surfaces and its relation with adhesion strength of coatings. Surface and Coatings Technology 130 (2000).
- [16] Amada S., Yamada H.: Introduction of fractal dimension to adhesive strength evaluation of plasma-sprayed coatings. Surface and Coatings Technology 78 (1996).

 4METAL.PL

Ponad 2000 podwykonawców z całego świata

[katalog firm] PONAD 2000 FIRM Z CAŁEGO ŚWIATA
PODZIELONYCH NA KATEGORIE

[giełda pracy] OGŁOSZENIA PRACOWNIKÓW
I PRACODAWCÓW Z BRANŻY

 [giełda materiałów] OGŁOSZENIA KUPNA I SPRZEDAŻY, SZCZEGÓŁOWO
PODZIELONE NA GATUNKI I KSZTAŁTY MATERIAŁÓW








[giełda maszyn] PONAD 2300 AKTUALNYCH OGŁOSZEŃ
KUPNA I SPRZEDAŻY

[wydarzenia] LISTA TARGÓW I IMPREZ BRANŻOWYCH
ZE ŚWIATA

[aktualności] TECHNOLOGIE, WYWIADY, SPRAWOZDANIA,
WSZYSTKO CZEGO POTRZEBUJESZ

[media] INFORMACJE O CZASOPISMACH
BRANŻOWYCH Z CAŁEGO ŚWIATA

[video] RELACJE, WYWIADY,
PREZENTACJE

-  www.4metal.pl
-  www.4metal.de
-  www.4metal.cz
-  www.4metal.com
-  www.4metal.nl
-  www.4metal.at
-  www.4metal.be
-  www.4metal.ru
-  www.4metal.ch
-  www.4metal.it
-  www.4metal.ro
-  www.4metal.hu
-  www.4metal.us



GET THE MEMBERSHIP