

Tomasz Chmielewski<sup>1</sup>

Politechnika Warszawska, Instytut Technologii Materiałowych ul. Narbutta 85, 02-524 Warszawa

## STRUKTURA I WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTOWYCH POWŁOK OCHRONNYCH WYKONYWANYCH METODĄ NATRYSKIWIANIA GAZOPROSZKOWEGO

Przedstawiono metodę proszkowego płomieniowego natryskiwania powłok metalicznych i metaliczno-ceramicznych. Opisano sposoby i znaczenie przygotowania powierzchni pod natryskiwane warstwy. Wskazano podstawowe parametry procesu płomieniowego natryskiwania proszkowego wraz z przykładowym schematem typowego urządzenia (rys. 1). W części poświęconej badaniom mikroskopowym przedstawiono przekroje poprzeczne natryśniętych powłok wraz z podłożem. Na rysunku 2 pokazano mikrostrukturę warstwy natryskiwanej płomieniowo  $\text{Ni,Cr,B,Si+Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ , 500x. Rysunek 3 obrazuje mikrostrukturę warstwy natryskiwanej płomieniowo proszkiem Eutalloy TungTec o składzie chemicznym 60% WC, 20% Ni, 7% Cr, 6% Fe, 4% Si, 100x. Na rysunku 4 pokazano mikrostrukturę warstwy natryskiwanej płomieniowo  $\text{Ni,Cr,B,Si+40% WC}$ , 500x. Rysunek 5 przedstawia mikrostrukturę warstwy natryskiwanej płomieniowo  $\text{Ni,Cr,B,Si+10% Al}_2\text{O}_3$ , 200x. Następnie pokazano rozkłady mikrotwardości dla powłok zaprezentowanych na rysunkach 2 i 5.

**Słowa kluczowe:** natryskiwanie płomieniowe, powłoki, kompozyty metalowo-ceramiczne

## THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF PROTECTIVE COMPOSITE COATINGS FABRICATED BY THE POWDER GAS SPRAYING METHOD

This paper presents the application of powder gas spraying method for the production of metal and metal-ceramic coatings. The role and methods of the surface preparation has been outlined. The main parameters of the gas spraying method have been identified for typical equipment system (Fig. 1).

The results of microstructure examination are shown in the form of cross-section pictures of sprayed coatings and substrates. Figure 2 shows the microstructure of  $\text{Ni,Cr,B,Si+Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  layers obtained by the gas spraying method. Figure 3 presents the microstructure of sprayed layer made of Eutalloy TungTec powder (60% WC, 20% Ni, 7% Cr, 6% Fe, 4% Si). Figures 4 and 5 are showing gas sprayed  $\text{Ni,Cr,B,Si+40% WC}$  and  $\text{Ni,Cr,B,Si+10% Al}_2\text{O}_3$  layers. Also, the results of microhardness measurements of produced coatings are summarized in Figures 6 and 7.

**Key words:** gas thermal spraying, coatings, metal matrix composites, powders

### WSTĘP

Natryskiwanie gazoproszkowe jest jedną spośród wielu metod natryskiwania płomieniowego metalicznych i metaliczno-ceramicznych materiałów kompozytowych. Materiały wyjściowe, z których można wykonywać powłoki natryskiwane gazoproszkowo, występują w postaci stopowych proszków metalicznych, kompozytowych proszków cermetalowych lub ich mieszanin. Materiały te natryskiwane są na metaliczne i niemetaliczne podłoża w celu otrzymania powłoki silnie przylegającej do pokrywanej powierzchni. Źródłem ciepła służącym do wprowadzenia w stan ciekły natryskiwanych materiałów jest płomień gazowy spalane w tlenie acetyleny bądź propanu, co jest zależne od właściwości fizycznych natryskiwanych materiałów. Wspomniane metody służą modyfikacji warstw wierzchnich i/lub regeneracji kształtu elementów i części maszyn narażonych na zużycie i degradację właściwości na skutek oddziaływania czynników zewnętrznych.

Kompozytowe warstwy wykonywane metodą natryskiwania gazoproszkowego, będące przedmiotem niniejszego opracowania, charakteryzują się wysoką twardością od 550 do 650  $\mu\text{HV}_01$ , niską porowatością, podwyższoną odpornością na ścieranie. Odpowiednio użytkowane pozwalają na znaczne przedłużenie trwałości eksploatacyjnej narzędzi, części maszyn i urządzeń, zwłaszcza jeśli chodzi o trwałość korozyjną czy trybologiczną. Zastosowana metoda daje możliwość wielokrotnego jej stosowania na tym samym obiekcie.

### PRZYGOTOWANIE POWIERZCHNI NATRYSKIWANEGO PODŁOŻA

Podstawową cechą procesów natryskiwania cieplnego jest brak topienia powierzchni materiału podłoża, a więc nie występuje metalurgiczne wymieszanie zwykle ciekłego natryskiwanego materiału z podłożem. Fakt ten

<sup>1</sup> mgr inż.

decyduje o właściwościach i charakterze powstałego pomiędzy natryśniętą warstwą a podłożem połączenia, które zwykle jest mechaniczno-adhezyjne, niekiedy dyfuzyjne [1], choć w niewielkim tylko stopniu. Z wymienionych powodów przygotowanie powierzchni natryskwanego podłoża ma tu pierwszorzędne znaczenie i wykonuje się je przez: piaskowanie, śrutowanie, skórowanie i inne obróbki ubytkowe. Powłoki będące przedmiotem niniejszego opracowania wykonywane były na podłożu stalowym St3S, którego powierzchnia poddana była piaskowaniu w celu:

- usunięcia z powierzchni warstw tlenkowych dla zwiększenia zwilżalności podłoża natryskwanym materiałem,
- rozwinięcia powierzchni podłoża,
- wytworzenia na powierzchni nierówności ułatwiających mechaniczne zaczepienie natryskwanego materiału.

Po przygotowaniu powierzchni należy w jak najkrótszym czasie rozpocząć proces natryskiwania.

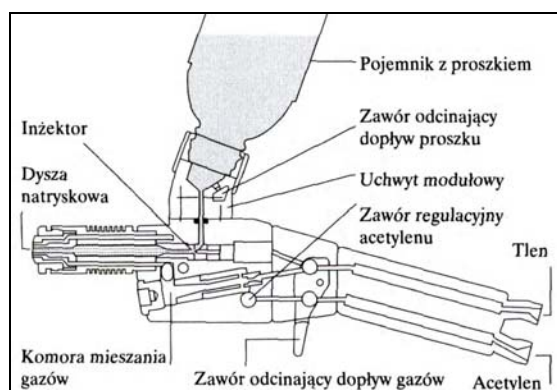
## PARAMETRY NAKŁADANIA WARSTW

Zasadniczym czynnikiem decydującym o jakości natryśniętej warstwy jest sposób przygotowania podłoża, zależny od geometrii natryskwanej powierzchni i rodzaju natryskwanego materiału [3]. W tym przypadku powierzchnię piaskowano. Kolejne parametry to rodzaj stosowanego proszku i jego uziarnienie:

- Ni,Cr,B,Si (20÷125  $\mu\text{m}$ )+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> (20  $\mu\text{m}$ )
- 80WC, Ni, Cr, Fe, Si (20÷125  $\mu\text{m}$ )
- Ni,Cr,B,Si+40% WC (20÷125  $\mu\text{m}$ )
- Ni,Cr,B,Si(20÷125  $\mu\text{m}$ )+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (20  $\mu\text{m}$ )

Ciśnienie gazu palnego, acetyleny (bar), ciśnienie tlenu (bar), odległość palnika od natryskwanej powierzchni (10÷25 mm), prędkość natryskiwania (przesuwu palnika) oraz temperatura podgrzewania powierzchni podłoża (250÷300°C).

Na rysunku 1 przedstawiono typowy palnik stosowany do płomieniowego natryskiwania proszkowego z możliwością prowadzenia procesu „na gorąco”, czyli z przetopieniem natryśniętej powłoki, bądź „na zimno” bez przetopienia.



Rys. 1. Schemat palnika RotoTec 80 do natrysku płomieniowego proszkowego „na gorąco” oraz „na zimno” [2]

Fig. 1. The chart of RotoTec 80 torch to thermal powder spraying

## BADANIA MIKROSKOPOWE PRZEKROJU POPRZECZNEGO POWŁOK

Na rysunkach 2-5 pokazano obrazy przekrojów poprzecznych natryskiwanych powłok cermetalowych na podłożu stalowe St3S. Obserwacje przeprowadzono na mikroskopie optycznym Olympus. Rysunek 2 przedstawia natryśniętą warstwę bazującą na metalicznej osnowie proszku Eutalloy BoroTec 10009 o składzie chemicznym: 0,7%C-15%Cr-3,5%Fe-3,2%B-4,4%Si - reszta Ni i uziarnieniu 25÷125  $\mu\text{m}$ , domieszkowanego 10% obj. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>(70-30) o uziarnieniu 6÷45  $\mu\text{m}$ . Na rysunku 2 widoczne jest równomierne rozproszenie ceramicznego umocnienia w całej wysokości natryśniętej warstwy. Powłoka ta charakteryzuje się również dobrą przyczepnością do stalowego podłoża, gdzie obserwować można dokładne wypełnienie nierówności powierzchni natryskwanym materiałem.



Rys. 2. Mikrostruktura warstwy natryskiwanej płomieniowo Ni,Cr,B,Si+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>, pow. 500x

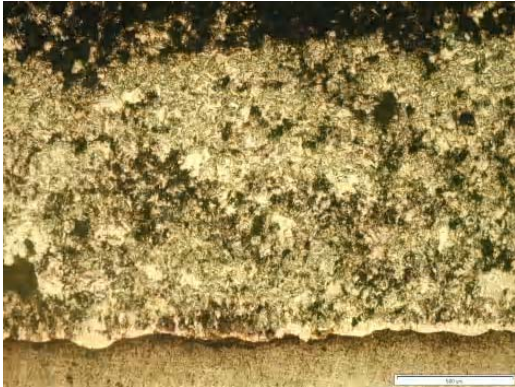
Fig. 2. The microstructure of thermal spraying coating Ni,Cr,B,Si+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>, 500x



Rys. 3. Mikrostruktura warstwy natryskiwanej płomieniowo proszkiem Eutalloy TungTec 60% WC, 20% Ni, 7% Cr, 6% Fe, 4% Si, pow. 100x

Fig. 3. The microstructure of thermal spraying coating 60% WC, 20% Ni, 7% Cr, 6% Fe, 4% Si, 100x

Na rysunku 3 przedstawiono mikrostrukturę warstwy natrykiwanej płomieniowo na gorąco (z przetopieniem po natryśnięciu) proszkiem cermetalowym samotopnikującym Eutalloy TungTec o składzie chemicznym 60% WC, 20% Ni, 7% Cr, 6% Fe, 4% Si. W natryśniętej powłoce widoczne są duże cząstki węgla wolframu, dobrze zwilżone materiałem osnowy. Powłoka wolna od porów wykazuje dobrą przyczepność do podłoża.



Rys. 4. Mikrostruktura warstwy natrykiwanej płomieniowo Ni,Cr,B,Si+40% WC, pow. 500x

Fig. 4. The microstructure of thermal spraying coating Ni,Cr,B,Si+40% WC, 500x

Rysunek 4 przedstawia natryśniętą płomieniowo warstwę bazującą na metalicznej osnowie proszku Eutalloy BoroTec 10009 o składzie chemicznym: 0,7%C-15%Cr-3,5%Fe-3,2%B-4,4%Si - reszta Ni i uziarnieniu  $25 \div$

$125 \mu\text{m}$ , domieszkowanego 40% WC o uziarnieniu  $20 \div 40 \mu\text{m}$ . Na rysunku 4 widoczne jest równomierne rozproszenie ceramicznego umocnienia w całej wysokości natryśniętej warstwy oraz występująca stosunkowo niewielka porowatość. Powłoka ta charakteryzuje się również dobrą przyczepnością do stalowego podłoża, gdzie obserwować można dokładne wypełnienie nierówności powierzchni natrykiwanym materiałem.



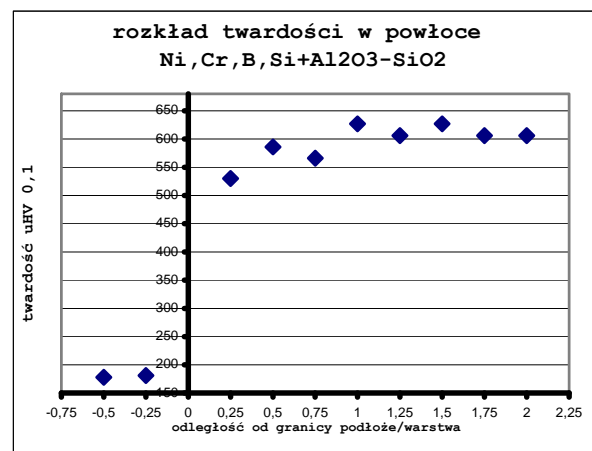
Rys. 5. Mikrostruktura warstwy natrykiwanej płomieniowo Ni,Cr,B,Si+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pow. 200x

Fig. 5. The microstructure of thermal spraying coating Ni,Cr,B,Si+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 200x

Rysunek 5 przedstawia natryśniętą płomieniowo warstwę bazującą na metalicznej osnowie proszku Eutalloy BoroTec 10009 o składzie chemicznym: 0,7%C-15%Cr-3,5%Fe-3,2%B-4,4%Si - reszta Ni i uziarnieniu  $25 \div 125 \mu\text{m}$ , domieszkowanego 10% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> o uziarnieniu  $40 \mu\text{m}$ . Na rysunku 5 widoczny jest brak porowatości oraz równomierne rozproszenie ceramicznego umocnienia w powłoce. Powłoka ta charakteryzuje się dobrą przyczepnością do stalowego podłoża, gdzie obserwować można dokładne wypełnienie nierówności powierzchni natrykiwanym materiałem.

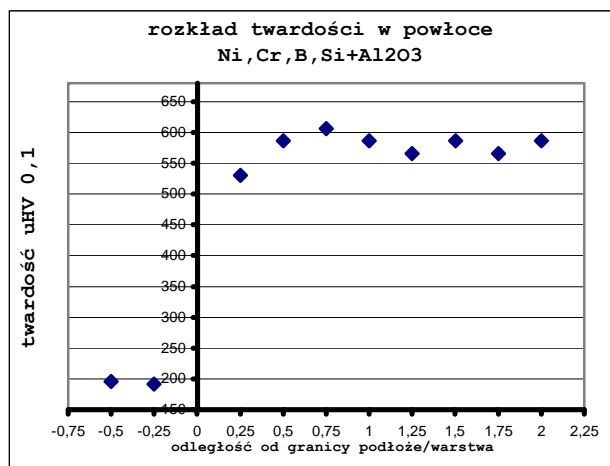
## ROZKŁADY TWARDOŚCI W NATRYŚNIĘTYCH POWŁOKACH

Pomiary twardości przeprowadzono na twardościomierzu mikroskopowym PMT-3 przy obciążeniu 100 g. Przedstawione na rysunkach 6 i 7 wyniki są wartościami średnimi wyznaczonymi na podstawie trzech prób. W wyniku prowadzonych badań mikrotwardości uzyskanych warstw kompozytowych odnotowano wzrost twardości dochodzącej nawet do 630  $\mu\text{HV}01$ .



Rys. 6. Rozkłady twardości w przekroju podłoże-warstwa, Ni,Cr,B,Si+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>

Fig. 6. Distributions of microhardness in cross-section substrate/coating, Ni,Cr,B,Si+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>



Rys. 7. Rozkłady twardości w przekroju podłoża-warstwy, Ni,Cr,B,Si+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Fig. 7. Distributions of microhardness in cross-section substrate/coating, Ni,Cr,B,Si+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzone próby natryskiwania płomieniowego proszkowego wykazały możliwość uzyskania powłok kompozytowych ceramiczno-metalowych, silnie przyle-

gających do natryskiwanej powierzchni bez wyraźnych rozwarstwień czy nieciągłości. Grubości uzyskanych powłok sięgają 2 mm i nie wykazują w większości przypadków istotnych porowatości. Rozproszenie umocnienia we wszystkich uzyskanych powłokach jest dostatecznie równomierne. Twardość warstwy w przypadku materiału Ni,Cr,B,Si+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> sięga 630 μHV<sub>01</sub>, a dla warstwy Ni,Cr,B,Si+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dochodzi do 600 μHV<sub>01</sub>.

*Praca częściowo realizowana w ramach projektu zamawianego KBN nr Z-KBN K011/T08/2000 Nanomateriały metaliczne, ceramiczne i organiczne: synteza, budowa, właściwości, zastosowanie.*

## LITERATURA

- [1] Klimpel A., Napawanie i natryskiwanie cieplne, WNT, Warszawa 2000.
- [2] Materiały informacyjne firmy Castolin-Eutectic.
- [3] McPherson R., The Microstructure of Thermally Sprayed Coatings, ATTAC, Osaka 1988.

Recenzent  
Józef Ślężiona