

THE INFLUENCE OF THE STATE OF THE SURFACE ON PROPERTIES OF COATS AFTER METAL SPRAYING

Summary

The paper presents the results of the research of the influence of the surface layer state (before spraying) on the adhesion of the regenerative coatings after the warm spraying in gas-powder method. The quality of the coating was evaluated by measurement roughness parameters, the hardness and the adhesion. The results have shown, that the shot peening causes the sharp increasing of the adhesion of the regenerative coating, especially with the ground coat.

WPLYW STANU POWIERZCHNI NA WŁAŚCIWOŚCI POWŁOK METALIZOWANYCH NATRYSKOWO

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu stanu warstwy wierzchniej (przed natryskiwaniem) na przyczepność powłok regeneracyjnych, natryskiwanych cieplnie metodą gazo-proszkową. Jakość powłok oceniono wyznaczając parametry chropowatości, twardość i przyczepność. Badania wykazały, że nagniatanie strumieniowe powoduje wyraźny wzrost chropowatości (w porównaniu z szlifowaniem), umocnienie warstwy wierzchniej, co wpływa korzystnie na przyczepność powłok regeneracyjnych, zwłaszcza z naniesionym uprzednio podkładem.

1. Wprowadzenie

Jedną z szybko rozwijających się dziedzin techniki jest inżynieria powierzchni. Związane z nią technologie – w szerokim zakresie - pozwalają uzyskać warstwy lub powłoki o niespotykanych dotąd własnościach. Możliwość wykonania elementów maszyn i pojazdów z tanich materiałów, z zastosowaniem wybranych technologii inżynierii powierzchni, pozwala na znaczną obniżkę kosztów wytwarzania nowoczesnych produktów. Dotyczy to przede wszystkim tych dziedzin techniki, gdzie warstwy wierzchnie współpracujące ze sobą elementów decydują o jakości wyrobów; przypadek taki ma miejsce w produkcji ciągników i w przemyśle samochodowym.

Szeroki zakres stosowanych w praktyce metod tworzenia warstw i powłok ogranicza z konieczności zakres badań do bardzo zawężonego przedziału tej problematyki. W niniejszym referacie ograniczono się tylko do oceny wybranych powłok natryskiwanych cieplnie. Jakość takich powłok zależy od składu chemicznego materiału dodatkowego, a więc powłoki, oraz przede wszystkim od jej przyczepności do podłoża. Pod pojęciem natryskiwania cieplnego rozumie się nakładanie powłoki metalicznej bez przetopienia materiału podłoża. Powłoka łączy się z podłożem adhezyjnie lub mechanicznie wtedy, kiedy adhezja nie zachodzi. Materiał dodatkowy, z którego jest powłoka, podawany jest na ogół w postaci drutu lub proszku. Źródłem ciepła stapiającym ten materiał może być płomień gazowy, łuk elektryczny lub łuk plazmowy. Stąd trzy metody natryskiwania cieplnego.

Natryskiwanie gazowe – zastosowane w pracy – jest procesem nakładania warstw z materiałów w stanie ciekłym, różniących się od podłoża, celem uzyskania powłoki ochronnej o zamierzonych właściwościach, adhezyjnie lub mechanicznie związanej z podłożem. Rozpylone, stopione cząstki (o wielkości do około 0,2 mm) przyspieszane są przez palący się gaz lub sprężone powietrze i uderzając w powierzchnię elementu ulegają spłaszczeniu, tworząc war-

stewki dopasowujące się do powierzchni podłoża. Zatem ważnym czynnikiem, wpływającym na przyczepność, a więc decydującym o jakości warstwy, jest przygotowanie powierzchni natryskiwanej.

Natryskiwanie gazowo-proszkowe – zastosowane w pracy – polega na podawaniu dodatkowego materiału w postaci proszku metalicznego z pojemnika do płomienia gazowego, w którym po przetopieniu – pod ciśnieniem tegoż gazu – jest wyrzucany na obrabiany przedmiot. Metalizacja przeznaczona jest przede wszystkim do nakładania powłok odpornych na ścieranie oraz powłok antykorozyjnych.

Są dwa sposoby natryskiwania gazowo-proszkowego; na zimno i na gorąco. Przy natryskiwaniu na zimno temperatura przedmiotu nie przekracza 350°C. Stosuje się ją do regeneracji przedmiotów stalowych zużytych adhezyjnie. Z uwagi na niską temperaturę możliwe jest natryskiwanie stopów niskotopliwych (np. stopów aluminium) oraz tworzyw sztucznych. Natryskiwanie gazowo-proszkowe na gorąco, przy którym przedmiot podgrzewa się do około 600 °C, może być wykorzystane do nakładania warstw - odpornych na ścieranie, korozję i wysoką temperaturę - na przedmioty ze stali, żeliw lub stopów żaroodpornych.

Celem pracy było zbadanie wpływu stanu warstwy wierzchniej (przed natryskiwaniem) na przyczepność powłok regeneracyjnych natryskiwanych cieplnie metodą gazo-proszkową na zimno.

2. Sposób natryskiwania

Metoda natryskiwania gazowo-proszkowego na zimno – zastosowana w pracy - polegała na zastosowaniu urządzenia Roto Tec 80 firmy Castolin Eutectic (rys. 1), składającego się z pojemnika z rurką doprowadzającą proszek i palnika gazowego, w którym ulegał on stopieniu. Dalej stopione krople – z wykorzystaniem ciśnienia gazów tego płomienia – zostały narzucone na metalizowany przedmiot (próbkę). Gazem palnym był acetylen.



Rys. 1. Palnik do natryskiwania gazowo-proszkowego Roto-Tec 80 firmy Castolin Eutectic

Fig. 1. Manual torch for spraying in gas-powder method Roto-Tec produced by Castolin Eutectic

3. Przygotowanie próbek

O przyczepności powłok regeneracyjnych decyduje stan fizyko-chemiczny powierzchni warstwy wierzchniej próbek przed natryskiwaniem, zwłaszcza ich czystość i parametry geometryczne powierzchni. Stosuje się wiele sposobów przygotowania powierzchni; metod zwiększających powierzchnię czynną dla adhezyjnego łączenia powłoki z podłożem. Należą do nich metody ubytkowe, nagniatanie strumieniowe, piaskowanie i inne. W pracy zastosowano dwa sposoby nagniatania strumieniowego; śrutowanie śrutem stalowym, hartowanym o ziarnistości 1,0 (kulistym o twardości 365-545 HV i łamanym o twardości 545-830 HV). Ponadto – dla porównania – zbadano serię próbek o powierzchniach szlifowanych papierem ściernym nr 60. Śrutowanie przeprowadzono bezpośrednio przed natryskiwaniem z pomocą urządzenia bezpyłowego oczyszczania UBC-4, przy ciśnieniu powietrza około 6,5 MPa, z zastosowaniem dyszy o średnicy krytycznej 4,8 mm i średniej granulacji śrutu 1,0 mm.

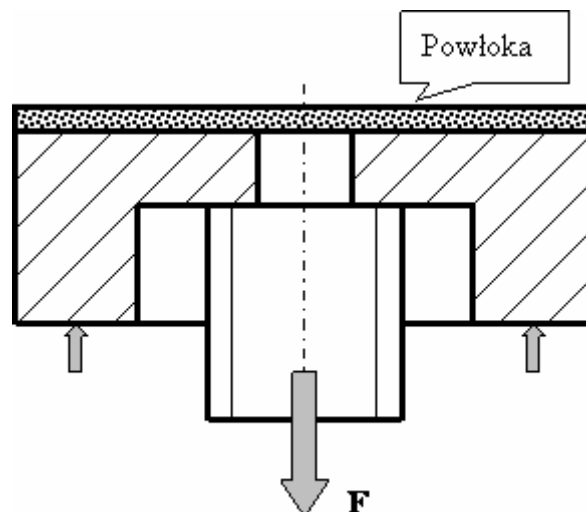
Próbki, dostosowane do przyjętej metody badań (sposobu rozciągania), wykonane były ze stali St3S. Próbki – jak na rys. 2 – składały się z oprawki i nagwintowanego trzpienia, pasowanego w części cylindrycznej - H7/h6. Taki rodzaj pasowania nie powinien mieć wpływu na wynik pomiaru przyczepności powłoki.

Na powierzchni czołowej próbek – z pomocą palnika Roto-Tec 80 – nakładano warstwę podkładu, którym był proszek Xuper Ultrabond 51000, a następnie warstwę właściwą - proszek Roto-Tec 19910 „Duro Tec”. Część próbek miała warstwę bez podkładu. Przed nakładaniem warstw próbki podgrzewano wstępnie do temperatury około 100 °C. Podczas natryskiwania temperatura próbek dochodziła do 250 °C. Grubość warstwy jednego przejścia w obydwu przypadkach (podkład i warstwa właściwa) wynosiła 0,2 mm. Proces natryskiwania przeprowadzono w kilku przejściach do uzyskania grubości powłoki około 1,5 mm.

4. Metody i zakres badań

Badania przed natryskiwaniem obejmowały:

- ocenę chropowatości powierzchni
- obserwacje mikroskopowe,
- pomiary twardości próbek nagniatanych strumieniowo, a po natryskiwaniu – pomiary przyczepności warstw.



Rys. 2. Próбка do badania przyczepności powłok natryskiwanych; F – siła odrywająca powłokę

Fig. 2. Specimen for the research of coatings after the spraying; F – the power which tears off the coating

4.1. Pomiary parametrów chropowatości

Pomiary chropowatości przeprowadzono z pomocą profilometru Surtronic 3 firmy Taylor Hobson, umożliwiającego komputerową obróbkę sygnałów. Pomiary wykonano z dokładnością 0,01, na odcinku pomiarowym długości 4 mm; odcinki elementarne wynosiły 0,8 mm. Zgodnie z normą PN-EN ISO 4287:1999 mierzono wartości R_a – średnią arytmetyczną rzędnych profilu, R_t – całkowitą wysokość profilu (wewnątrz odcinka elementarnego), RSm – średnią szerokość rowków elementów profilu.

4.2. Pomiary twardości

Pomiary twardości warstwy wierzchniej na zgładach próbek śrutowanych wykonano z pomocą twardościomierza firmy ZWICK typ 3212002, z komputerową rejestracją wyników, przy obciążeniu 0,1 kg (HV0,1). Dla każdej próbki wykonano po sześć ścieżek pomiarowych; dwa razy po trzy, przesunięte względem siebie, celem zmniejszenia odległości pomiarowej między odciskami.

4.3. Obserwacje mikroskopowe

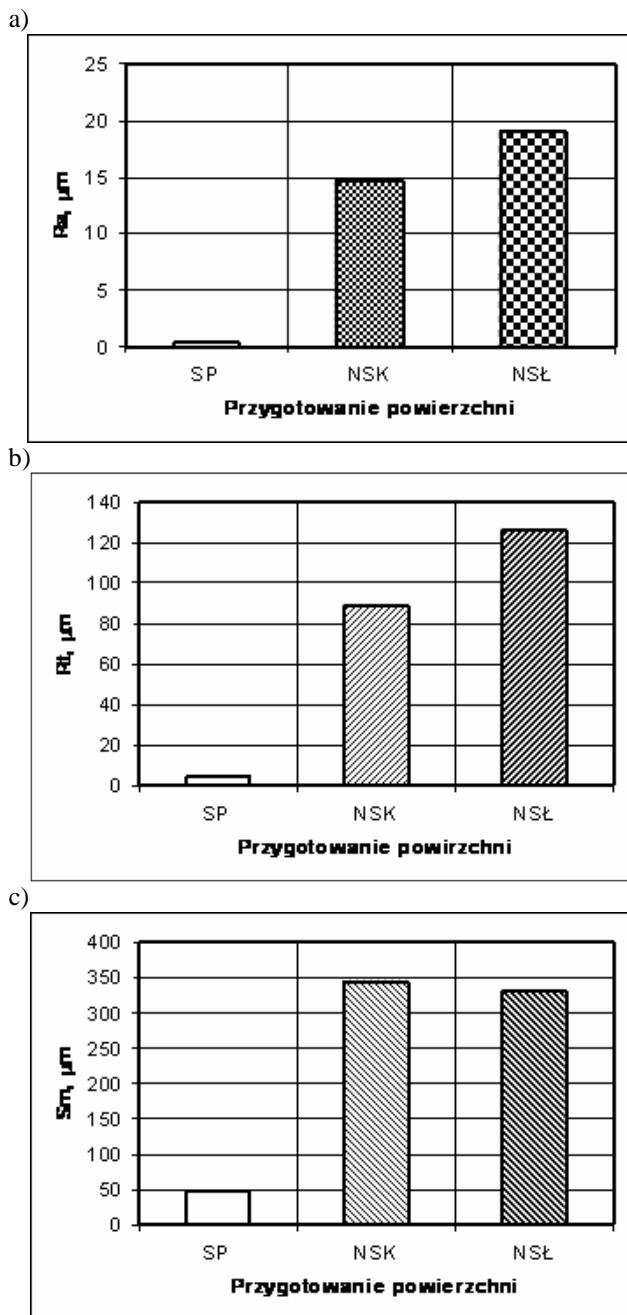
Strukturę próbek z nałożonymi warstwami regeneracyjnymi obserwowano na zgładach trawionych nitałem, pod mikroskopem świetlnym przy powiększeniu 200 i 400 razy.

4.4. Badania przyczepności powłok

Badania przyczepności warstw regeneracyjnych przeprowadzono zmodyfikowaną metodą „A” [1] według normy BN-75/1076-03. Odpowiednio przygotowane próbki zamocowane były w oprawce umożliwiającej zerwanie nałożonej powłoki. Odrywanie powłok przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 1193. Pomiar siły kończył się oderwaniem warstwy. Jej wartość odczytywano z wykresu, z dokładnością 20N. Założono liczbę 5 próbek obrobionych jedną metodą nagniatania strumieniowego. Liczba próbek szlifowanych papierem ściernym (przed natryskiwaniem) była mniejsza – 3 i 4 próbki.

Dyskusja wyników badań i wnioski

Przyczepność powłok regeneracyjnych zależy od wielu czynników. Wśród nich podstawowe miejsce zajmuje stan warstwy wierzchniej przed natryskiwaniem. Stan ten - po intensywnym nagniataniu strumieniowym - charakteryzuje się gradientową strukturą oraz geometrią powierzchni opisaną wybranymi parametrami Ra , Rt i RSm . O gradientowym charakterze warstwy świadczą pomiary twardości.



Rys. 3. Wyniki pomiarów parametrów geometrycznych powierzchni próbek:

SP – szlifowanych papierem ściernym,
NSK – nagniatanych śrutem kulistym,
NSŁ – nagniatanych śrutem łamanym.

Parametry: a) - Ra , b) - Rt , c) - RSm

Fig. 3. Results of measurements of roughness parameters:

SP – after grinding by glass-paper,

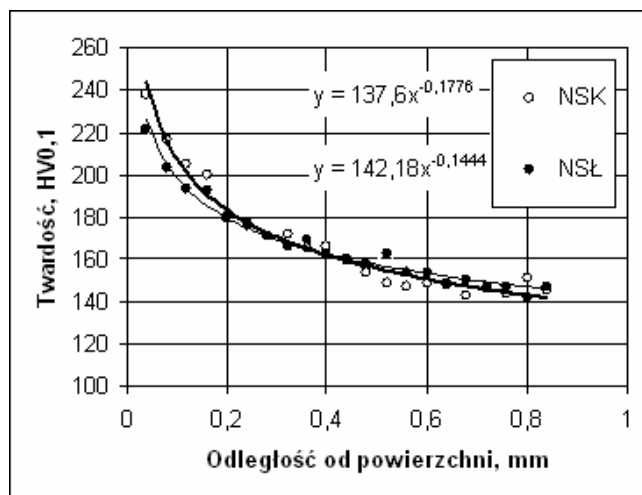
NSK – after ball peening,

NSŁ – after shot peening by cut wire shot;

Parameters: a) Ra , b) Rt , c) RSm

Na rys. 3 przedstawiono wyniki pomiarów chropowatości powierzchni. Wskazują one, że nagniatanie strumieniowe powoduje wyraźny wzrost chropowatości powierzchni, w porównaniu z chropowatością próbek szlifowanych papierem ściernym SP; przy tym nagniatanie śrutem łamanym (twardym) NSŁ powoduje większe zmiany parametrów Ra i Rt , aniżeli śrutem kulistym NSK, a tylko nieznaczne – parametru RSm .

Większe schropowacenie powierzchni wiąże się także z większym umocnieniem warstwy wierzchniej. Na rys. 4 przedstawiono wyniki pomiarów twardości. Z porównania linii trendu typu $Y = aX^b$ wynika, że nagniatanie śrutem kulistym NSK daje nieco większe umocnienie przy powierzchni.



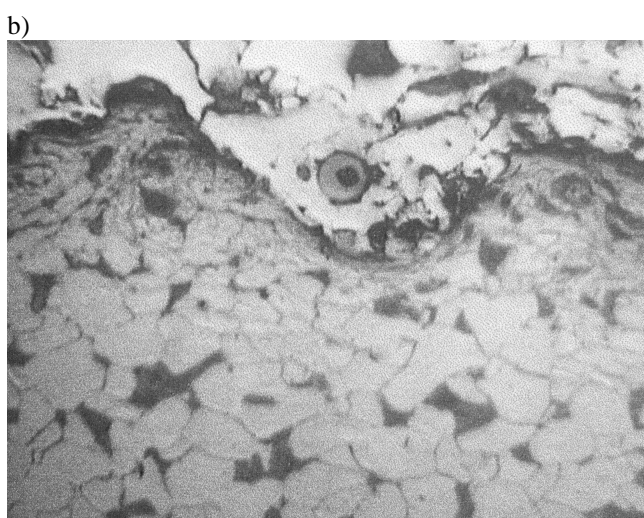
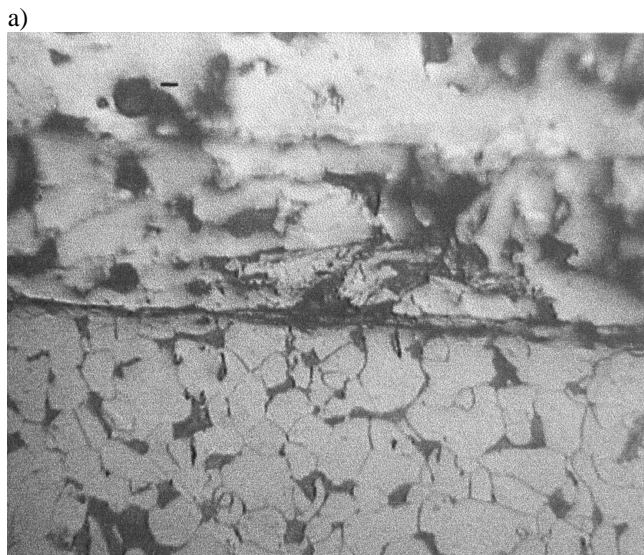
Rys. 4. Wyniki pomiarów twardości

Fig. 4. Results of hardness measurements

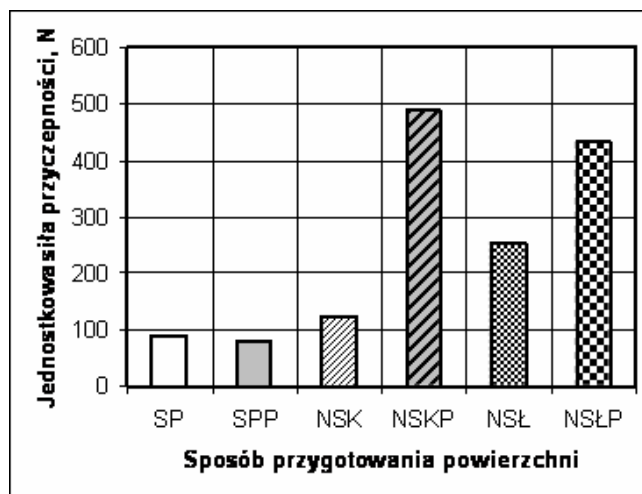
Na rys. 5 pokazano struktury warstw i powłok regeneracyjnych z podkładem. Z mikrofotografii wynika, że próbki śrutowane mają bardzo nierówną, a więc bardzo rozwiniętą powierzchnię graniczną między warstwą wierzchnią a powłoką, w porównaniu do próbek szlifowanych papierem ściernym. Na tej podstawie można przypuszczać, że próbki nagniatane będą miały większą przyczepność. Na zdjęciach trudno rozróżnić podkład od zasadniczej powłoki regeneracyjnej z proszku Roto Tec 19910 „Duro Tec”.

Maksymalną siłę odrywania powłoki odczytywano z wykresów zarejestrowanych podczas próby rozciągania próbek umocowanych (w odpowiednim przyrządzie) na maszynie wytrzymałościowej INSTRON. Wpływ stanu powierzchni na jednostkową siłę przyczepności powłok regeneracyjnych pokazano na rys. 6.

Z rys. 6 wynika, że nagniatanie powoduje wzrost przyczepności powłok regeneracyjnych, zwłaszcza natryskiwanych na zimno z podkładem (NSKP i NSŁP). Zauważono, że sposób nagniatania wpływa na przyczepność próbek natryskiwanych bez podkładu. W przypadku natryskiwania próbek z podkładem, sposób nagniatania nie miał istotnego znaczenia. Znaczenia nie ma natomiast, zastosowanie podkładu na próbkach szlifowanych papierem ściernym. Zatem, można przypuszczać, że dla uzyskania dużej przyczepności powłok regeneracyjnych konieczne jest przygotowanie powierzchni przez intensywne nagniatanie i zastosowanie odpowiedniego podkładu. Jeśli schropowacenie materiału rodzimego jest niedostateczne, zastosowanie warstwy podkładowej jest zbędne.



Rys. 5. Struktury powłok regeneracyjnych na próbkach:
 a) SP – szlifowanej papierem ściernym,
 b) NSK – nagniatanej śrutem kulistym,
 c) NSŁ – nagniatanej śrutem łamanym. Pow. 200x
*Fig. 5. Structure of regenerative coatings on specimens:
 a) SP – after grinding by glass-paper,
 b) NSK – after ball peening,
 c) NSŁ – after shot peening by cut wire shot*



Rys. 6. Wyniki badania przyczepności powłok regeneracyjnych. Stan powierzchni próbek przed natryskiwaniem oznaczono następująco:

SP - szlifowanie papierem ściernym, natryskiwanie bez podkładu,

SPP - szlifowanie papierem ściernym, natryskiwanie z podkładem,

NSK - nagniatanie strumieniowe śrutem kulistym, natryskiwanie bez podkładu,

NSKP - nagniatanie strumieniowe śrutem kulistym, natryskiwanie z podkładem,

NSŁ - nagniatanie strumieniowe śrutem łamanym, natryskiwanie bez podkładu,

NSŁP - nagniatanie strumieniowe śrutem łamanym, natryskiwanie z podkładem

Fig. 6. Results of the research of the adhesion of regenerative coatings. States of surfaces before spraying:

SP – glass-paper grinding, spraying without ground coat,

SPP - glass-paper grinding, spraying with ground coat,

NSK - after ball peening, spraying without ground coat,

NSKP - after ball peening, spraying with ground coat,

NSŁ – after shot peening by cut wire shot, spraying without ground coat,

NSŁP – after shot peening by cut wire shot, spraying with ground coat

Badania pozwoliły wyciągnąć następujące wnioski:

- nagniatanie strumieniowe powoduje wyraźny wzrost chropowatości powierzchni próbek szlifowanych papierem ściernym; większy w przypadku próbek nagniatanych śrutem łamanym,
- większe schropowawenie powierzchni przy nagniataniu strumieniowym wiąże się z większym umocnieniem warstwy wierzchniej,
- bardziej rozwinięta powierzchnia po nagniataniu strumieniowym powoduje wzrost przyczepności powłok regeneracyjnych, zwłaszcza z podkładem,
- jeśli chropowatość powierzchni jest niedostateczna, stosowanie podkładu nie ma istotnego wpływu na przyczepność powłoki.

Literatura

[1] M. Jósko: Metodologiczne aspekty oceny przyczepności powłok regeneracyjnych metoda ultradźwiękową. Politechnika Poznańska – Rozprawy nr 372. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2002.