

Wady i uszkodzenia powłok natryskiwanych cieplnie w procesie ich wytwarzania i eksploatacji

Defects in thermal sprayed coatings occurred during manufacturing and operation

Streszczenie

Celem artykułu jest pokazanie przykładów wad i defektów mogących występować w powłokach natryskiwanych cieplnie (NC) w czasie ich wykonywania, jak również uszkodzeń powłok na elementach urządzeń, powstałych w okresie eksploatacji. Prezentowane wyniki pochodzą z wieloletniego doświadczenia w zakresie technik NC, umożliwiającego zgromadzenie setek zdjęć ze zrealizowanych prac, pokazujących przykłady wykorzystania technik NC do powłok eksploatacyjnych pracujących w urządzeniach poddanych obciążeniom w różnych warunkach przemysłowych.

Wiedza wynikająca z dużej liczby wykonanych usług pozwoliła na opracowanie wielu własnych rozwiązań dotyczących zastosowanych materiałów oraz sposobów wykonywania powłok. Zawarte w artykule przykłady wad i defektów powłok natryskiwanych cieplnie powstały wskutek błędów wykonawców powłok na elementach urządzeń oraz błędów obsługi w zakładach przemysłowych.

Abstract

The main goal of this article, is to show examples of defects that may occur in thermal sprayed coatings during spray process, and also during operation/work maintenance.

Presented results were achieved in many years of authors' experience in thermal spraying. In this time were gathered hundreds of photos from completed works, which show the scope of applications for thermal spraying technology, for different machine-parts and environments.

As a result of our experience, we developed coating solutions to meet the requirements of the industry. The examples of defects, contained in this article, are taken from our own mistakes and errors, as also as an example of bad maintains service in industrial facilities.

Wstęp

Wymagania eksploatacyjne stawiane urządzeniom w obecnej dobie rozwoju przemysłowego wymuszają stosowanie nowoczesnych technologii z zakresu inżynierii powierzchni, które zapewnią utrzymanie powłoki o składzie chemicznym i właściwościach najbardziej odpowiednich w rzeczywistych warunkach pracy.

Badania laboratoryjne przeprowadzane w wielu renomowanych firmach, takich jak np: Sulzer Metco, HC Stark czy też Praxair, pozwalają skomponować

materiał o odpowiednim składzie chemicznym i wraz z nowoczesnymi procesami technologii wytwarzania umożliwiają utrzymanie materiałów w postaci: drutów, proszków, których użycie w technikach natryskiwania cieplnego zapewnia utrzymanie odpowiednich powłok eksploatacyjnych na powierzchni elementu.

Powłoki natryskiwane cieplnie różnymi metodami na elementy maszyn i urządzeń powinny zapewnić ich niezawodność, bezpieczeństwo, dobrą pracę oraz spełnienie wymagań założonych przez konstruktora.

W Polsce nie ma jeszcze dobrze rozwiniętego rynku na powłoki eksploatacyjne natryskiwane cieplnie, gdzie odbiorca wie, jaki rodzaj powłoki jest najbardziej korzystny dla pracy urządzeń stosowanych w jego firmie.

Mgr inż. Andrzej Radziszewski, lic. Adam Radziszewski – RESURS, Warszawa.

Badania niszczące powłok natrykiwanych ciepłonie wykonywane głównie przez Politechniki: Świętokrzyską, Śląską, Wrocławską, Warszawską, WAT oraz instytuty naukowe, np. IMP, są wykorzystywane głównie do celów dydaktycznych bądź prac naukowych. Niestety brak jest wykorzystania wyników badań powłok w warunkach eksploatacyjnych. Wyspecjalizowane firmy polskie z branży lotniczej stosują technologie NC i materiały do celów produkcyjnych, których specyfikacje zostały narzucone odgórnie. Jednocześnie w Polsce brak jest współpracy naukowych ośrodków badawczych z firmami specjalizującymi się w NC oraz przedsiębiorstwami poszukującymi konkretnych rozwiązań technologicznych. Przyczyną takiego stanu może być fakt, że ośrodki naukowe, nie mając bezpośredniego kontaktu z wydziałami produkcyjnymi i służbami utrzymania ruchu, nie dostrzegają bieżących problemów i nie mają odpowiednio szerokiej praktyki w przemyśle, przez co nie są w stanie w bezpośrednich kontaktach rozwiązać problemu. Nie wystarczy dobrać zasugerowanych przez sprzedawców proszków i metody natrykiwania ciepłego, aby mówić o wdrożeniu czy też rozwiązaniu problemu.

Dotychczasowe wspólne (Politechniki Świętokrzyskiej, firmy RESURS i firmy ZPW Trzuskawica) szcążkowe badania nad powłokami odpornymi na erozję w warunkach permanentnego ścierania po kilku próbach zostały zaniechane. Poważne podejście do takiego rodzaju badań wymaga przede wszystkim opracowania procedur, odpowiedniego doboru materiału, wielu prób bezpośrednio na urządzeniu oraz czasu.

Polskie firmy wykonujące powłoki eksploatacyjne i regeneracyjne metodami natrykiwania ciepłego biorą na siebie dużą odpowiedzialność, udzielając gwarancji na wykonywane powłoki, gdyż nie do końca wiedzą, czy dotrzymywane są parametry warunków pracy urządzenia, w tym odpowiednie do jakości medium stosowanego w urządzeniu.

Z drugiej strony, niedostateczna wiedza na temat natrykiwania ciepłego w nadzorze technicznym użytkownika nie pozwala w wielu wypadkach na prawidłowy dobór odpowiednich materiałów i metody natrykiwania ciepłego oraz – co jest nie mniej ważne – zapewnienie jakości powierzchni powłoki po obróbce wykańczającej.

Wady i uszkodzenia powłok natrykiwanych ciepłonie

W wyniku wieloletnich doświadczeń wynikających ze współpracy firmy RESURS z zakładami produkcyjnymi opracowano wiele własnych rozwiązań technologicznych zastosowanych u użytkowników. Współpraca z zakładami przemysłowymi pozwoliła na uzyskanie niezbędnego doświadczenia, w celu wyeliminowania błędów w naszej firmie, jak również u zleceniodawców.

Tablica. Metody nakładania powłok ochronnych na powierzchnie techniką natrykiwania ciepłego

Table. Methods of thermal spraying of protective coating

Metoda	Oznaczenie
przy zastosowaniu drutu	NC CWS
przy zastosowaniu proszku	NC CPS
naddźwiękowa	NC HVOF
łukowa	NC AWS
plazmowa	NC APS

Przedstawiciele firm z branży natrykiwania ciepłego powinni wymieniać bezpośrednio między sobą uwagi na temat nowych materiałów i rozwiązań technologicznych, jak to dzieje się w krajach posiadających duże doświadczenie i wiedzę z tego zakresu.

W artykule przedstawione zostały przykłady wad powłok natrykiwanych ciepłonie występujących podczas ich wytwarzania oraz uszkodzeń powłok w czasie eksploatacji.

W opisach użyto skrótów procesów potocznie stosowanych w języku angielskim, ponieważ polska norma PN-EN 657 nie podaje skrótów technik natrykiwania ciepłego (tablica).

NC CPS – sworzeń z powłok stellitu 1; wady – pęknięcia powłoki, brak dostatecznego połączenia adhezyjnego, błędy – brak dobrego przetopu, brak zapewnienia i neutrzymania bardzo powolnego stygnięcia powłoki (rys. 1, 2).

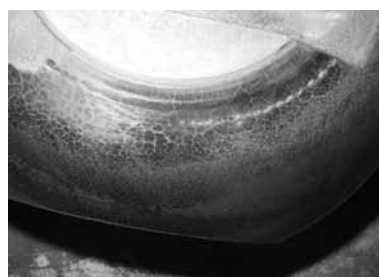


Rys. 1. Sworzeń po przetopie powłoki ze stellitu 1
Fig. 1. The pin after melting of the coating with stellite 1



Rys. 2. Sworzeń z odspojoną powłoką stellitu 1 po przetopie NC CPS
Fig. 2. The pin with Stellite 1 coating displacement after TS CPS melting

NC CWS – Powierzchnia kuli po szlifowaniu powłoki z Mo z wyraźną siatką pęknięć na skutek przegrzania powłoki podczas szlifowania oraz widocznym rozwarstwieniem, przyczyny – nieodpowiednia tarcza do szlifowania powłok NC, nieodpowiednie parametry szlifowania, brak dostatecznego chłodzenia (rys. 3).



Rys. 3. Powierzchnia czaszy kuli po szlifowaniu z widocznymi pęknięciami powłoki Mo wykonanej metodą NC CWS
Fig. 3. Surface of bowl after grinding with visible cracks in the Mo TS CWS coating

NC CWS – czop wału korbowego z przypaleniami szlifierskimi i siatką pęknięć przy promieniach przejścia (rys. 4, 5).



Rys. 4. Czopy wałów w czasie badań penetracyjnych i kontrolnego szlifowania powłoki

Fig. 4. Shaft neck during a penetration test and control grinding of coating



Rys. 5. Promień przejścia na czopie wykorbionym z widocznymi przypaleniami szlifierskimi powłoki Mo utworzonej przez NC CWS

Fig. 5. The radius of the transition on the shaft neck with overheating by grinding Mo TS CWS coating

NC CWS – czop wału z oderwaną powłoką stalową na skutek słabego połączenia adhezyjnego, czop tulei uszczelniającej zatarty z powodu niedostatecznego smarowania, z uszkodzoną powłoką od czoła czopu (rys. 6).



Rys. 6. Czop wału z oderwaną powłoką ze stali (NC CWS) na skutek słabego połączenia adhezyjnego

Fig. 6. Shaft neck of the detached coating of steel NC CWS due to poor adhesive joint

NC HVOF – tłoczyśko $\varnothing 50/L1500$ mm o długości roboczej ok. 900 mm, po 2 latach eksploatacji, z widocznymi dwoma obszarami z mikropęknięciami powłoki WCCoCr na długości 150 i 200 mm, powstałymi na skutek wysokiej temperatury, powłoka nie odpadła, na pozostałej powierzchni powłoki nie stwierdzono pęknięć (rys. 7).



Rys. 7. Fragment tłoczyśka o długości ok. 200 mm z popęknaną powłoką WC-CoCr po NC HVOF

Fig. 7. A part of 200 mm length piston rod with cracks in WC-CoCr coating after TS HVOF

NC AWS – pokrywa dmuchawy, zatarcia powłoki na skutek przesunięcia jednego z wirników, oderwania powłoki przy otworach przez drugi wirnik (rys. 8).



Rys. 8. Pokrywa dmuchawy z uszkodzoną powłoką Fe13Cr na skutek przemieszczenia się wirników

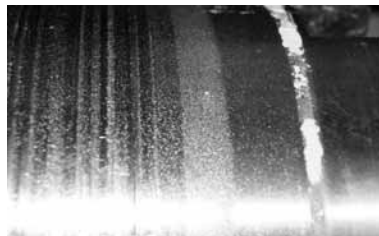
Fig. 8. Blower cover with a damaged Fe13Cr coating by rotor displacement

NC CWS – powłoki na tulejach uszczelniających zatarte na skutek pracy z uszczelnieniem, powłoki nie zostały oderwane od materiału rodzimego tulei (rys. 9, 10).



Rys. 9. Tuleje ochronne wałów z powłoką M4 (316) NC AWS

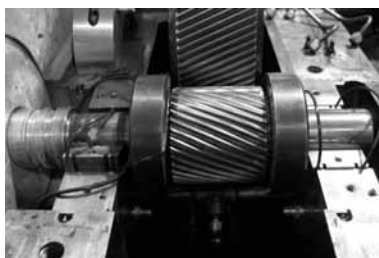
Fig. 9. Protective sleeves of shafts coated with M4 (316) TS AWS



Rys. 10. Tuleje ochronne wałów z powłoką M4 (316) NC AWS ze zbliżeniem zatartej powłoki w miejscu pracy uszczelnienia

Fig. 10. Protective sleeves of shafts coated with M4 (316) ŁS AWS and seizing by seals in the workplace

NC HVOF – czop wałka sprężarek szybkoobrotowych (37 000 obr/min), zatarcie powłoki WCCoCr na czopie najbliższym od strony wirnika, widoczne pęknięcia na czopie, oderwanie powłoki, a właściwie jej rozwarstwienie nastąpiło po awarii, widoczny brak zabrudzenia spalonym olejem oderwanego miejsca, przyczyna – brak dostatecznego smarowania czopu, brak kontroli nadzoru – w momencie postania drgań wału z wirnikiem należało wyłączyć turbosprężarkę (rys. 11, 12).



Rys. 11. Wał z uszkodzonym czopem od strony wirnika

Fig. 11. Shaft and rotor with damaged shaft neck by the rotor side



Rys. 12. Uszkodzony czop wału

Fig. 12. Damaged shaft neck

NC AWS – zatarte powierzchnie powłok ze stopem łożyskowym na wodzikach i ślizgach w korpusie sprężarki, na skutek niedostatecznego smarowania (rys. 13).



Rys. 13. Uszkodzona – zatarta powłoka ze stopu łożyskowego (NC AWS) na wodziku

Fig. 13. Damaged coating by the bearing alloy (TS AWS)

NC AWS – naprawa łożyskowania wału (łoża podtrzymującego korpus kruszarki), na zdjęciach przedstawiono element z pęknięciem i po naprawie metodą NC AWS brązem CuSn8 (rys. 14, 15).



Rys. 14. Uszkodzony – pęknięty korpus wraz z powłoką z brązu

Fig. 14. Crack in the housing with bronze coating



Rys. 15. Naprawiony korpus z powłoką z brązu CuSn8 nałożoną metodą NC AWS

Fig. 15. Repaired housing with the CuSn8 bronze coating (TS AWS)

NC AWS – segmenty łożyska wrzeciona szlifierki z rozwarstwowaną i oddzieloną od stali powłoką brązu CuSn8. Powłokę eksploatacyjną stanowi stop łożyskowy wylewany odśrodkowo w tulei. Odspojenie powłoki z brązu i stopu łożyskowego nastąpiło podczas rozcinania tulei na segmenty. Widoczne rozdzielanie się wewnętrzne powłoki z brązu oraz powłoki z brązu od stalowej obudowy na skutek słabego połączenia adhezyjnego (rys. 16).



Rys. 16. Segmenty łożyska wrzeciona szlifierki z rozwarstwowaną i oddzieloną od stali powłoką brązu CuSn8

Fig. 16. Parts of bearing in grinding spindle with delaminations and separation from steel the CuSn8 bronze coating

NC HVOF – tuleja ochronna wału wirnika z pęknięciami powłoki WC-CoCr zlokalizowanymi badaniami penetracyjnymi, tuleja po naprawie z powłoką WC-CoCr (rys. 17, 18).



Rys. 17. Pęknięcia ujawnione na powłoce WcCoCr tulei osłonowej wału w miejscu współpracy uszczelnienia

Fig. 17. Crack in the WC-CoCr coating on the sleeve of shaft in the seals in the workplace



Rys. 18. Tuleja osłonowa Ø127,0_{-0,013} po badaniach penetracyjnych ponownie wykonanej metodą NC HVOF powłoki WC-CoCr

Fig. 18. Sleeve Ø127,0_{-0,013} after penetration tests of HVOF sprayed WCCoCr coating

Podsumowanie

Nakładanie powłok eksploatacyjnych za pomocą technik natryskiwania cieplnego, przede wszystkim: naddźwiękowego HVOF, plazmowego AP jest powszechnie używane dla szerokiej gamy zastosowań przemysłowych. Techniki te są obecnie podstawowe w zakresie inżynierii powierzchni powłok eksploatacyjnych w wyrobach dla wielu gałęzi przemysłu.

Dostępność ogromnej liczby różnych materiałów stworzyła możliwość dostosowania natryskiwania HVOF i AP nawet do specjalistycznych zastosowań, w wyniku których otrzymuje się wyniki nie do uzyskania innymi technikami z zakresu inżynierii materiałowej.

Dobrej jakości powłoka eksploatacyjna wymaga nie tylko właściwego doboru i ustawienia technicznych parametrów natryskiwania cieplnego, czy też optymalnego przygotowania powierzchni, ale przede wszystkim doświadczenia pracowników firmy zdobywanego wielokrotnie latami pracy.

Firma RESURS posiada certyfikat ISO 9001:2008, jest członkiem założycielem Polskiej Izby Spawalniczej z siedzibą w Warszawie, jest też członkiem Europejskiego Stowarzyszenia Natryskiwania Ciepłego – GTS-Europe. Pracownicy firmy ukończyli specjalistyczne kursy z zakresu natryskiwania cieplnego organizowane przez IMP Warszawa oraz szkolenia w Niemczech, organizowane przez European Federation for Welding, Joining and Cutting – Monachium.

Literatura

- [1] Materiały informacyjne firmy Resurs – Polska.
- [2] Klimpel A.: Natryskiwanie i napawanie cieplne, Wydawnictwo Śląskie 1999.
- [3] Materiały informacyjne firmy H.C. Stark, Niemcy.

- [4] Materiały informacyjne firmy Flame Spray Technologies, Holandia.
- [5] Materiały informacyjne firmy Sulzer Metco, Niemcy.