

Bolesław FORMANEK, Krzysztof SZYMAŃSKI, Adam HERNAS
Politechnika Śląska, Katowice

TRWAŁOŚĆ EKSPLOATACYJNA NATRYSKIWANYCH CIEPLNIE POWŁOK DO OCHRONY ŚCIAN KOTŁÓW FLUIDALNYCH CFB

Słowa kluczowe

Zużycie ściernie, korozje, erozja, powłoki, natryskiwanie cieplne, HVOF.

Streszczenie

Przedstawiono analizę zużycia ścian wodnych kotłów z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym. Wybrane obszary ścian kotłów zabezpiecza się natryskiwanymi cieplnie powłokami odpornymi na zużycie erozyjne i korozyjne. Scharakteryzowano grupę materiałów kompozytowych stosowanych do natryskiwania cieplnego powłok metodą HVOF oraz łukową.

Przedstawiono kompozytowe proszki zawierające twarde węgliki w plastycznej osnowie oraz strukturę natryskiwanych cieplnie powłok. Metodą łukową natryskiwano powłoki z nowej generacji drutów proszkowych zawierających fazy międzymetaliczne z układu Fe-Al.

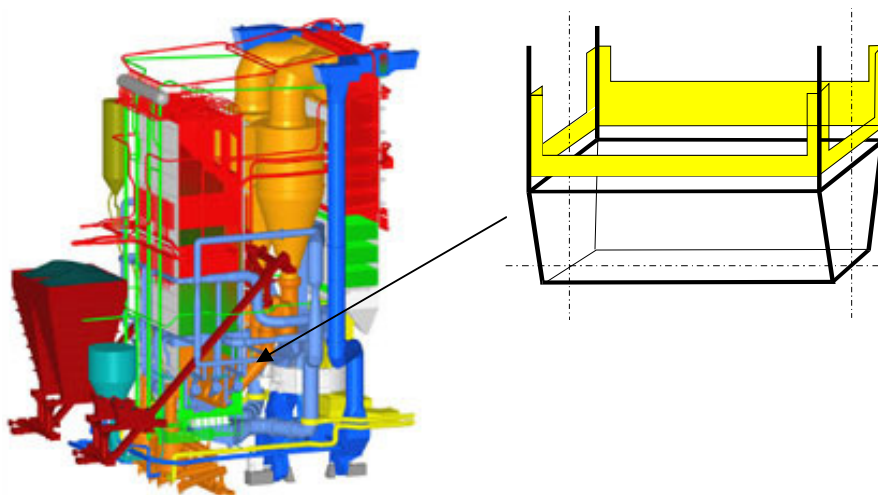
Określono wieloletnią trwałość powłok wytworzonych w kotłach CFB, dla których zastosowano również opracowany proces regeneracji.

W podsumowaniu scharakteryzowano opracowaną i wdrożoną technologię powłok ochronnych przeznaczoną dla ochrony powierzchni kotłów fluidalnych oraz konwencjonalnych.

Wprowadzenie

Przyczyną zużycia wielu elementów instalacji pracujących w energetyce są połączone procesy zużycia erozyjnego i korozyjnego zachodzącego w wysokiej temperaturze. Najintensywniej procesy te zachodzą w komorze spalania, na powierzchniach pregrzewaczy, ekonomizerów oraz w układach podawania paliwa i powietrza do kotła oraz układach odpowielania. Uszkodzenia tych powierzchni na skutek bardzo intensywnego zużycia erozyjno-korozyjnego w podwyższonej temperaturze stanowi jeden z podstawowych problemów eksploatacyjnych urządzeń energetycznych. Intensywny ruch cząstek złoża fluidalnego przy ścianach kotła powoduje ich intensywne zużycie erozyjne. Oddziaływanie korozyjne atmosfery na elementy kotła jest uzależnione od rodzaju spalanych paliw i jest bardziej agresywne przy współspalaniu biomasy.

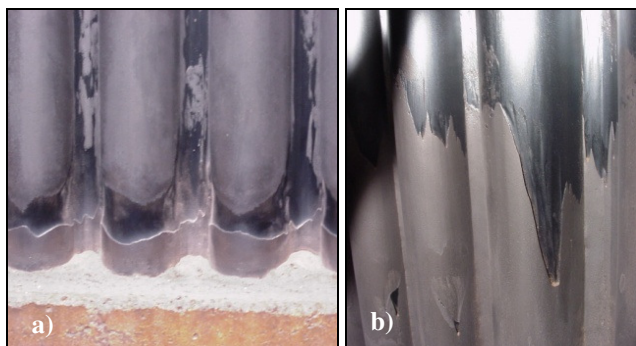
Schemat przedstawiający kocioł fluidalny z zaznaczonym obszarem intensywnego zużycia przedstawiono na rys. 1. Efektywnym sposobem zabezpieczenia tego obszaru ścian szczelnych jest stosowanie powłok ochronnych, które zapewniają wymaganą trwałość eksploatacyjną [1–4].



Rys. 1. Schemat kotła fluidalnego FCB 450 i miejsca narażone na zużycie

Przykłady uszkodzeń powierzchni rur zabezpieczonych powłokami natryskiwany po rocznej eksploatacji w strefie o bardzo wysokiej intensywności zużycia erozyjno-korozyjnego przedstawiono na rys. 2.

Ze względów technologicznych i organizacyjnych do zabezpieczenia neralgicznych obszarów stosowane są przede wszystkim ciepłno-mechaniczne metody wytwarzania powłok ochronnych, tj. napawanie i natryskiwanie ciepłne, natomiast w obszarach najintensywniej niszczonej stosuje się ceramiczne wymurówki ochronne.



Rys. 2. Zużycie erozyjne w kotle fluidalnym: a) obszar nad ceramiczną wymurówką, b) strefa przejściowa powłoki natryskiwanej cieplnie

1. Technologie natryskiwania cieplnego i materiały stosowane dla ochrony wybranych elementów instalacji kotłowych

Realne warunki pracy występujące w urządzeniach energetycznych ujmują: zużycie ściernie twardymi cząstkami popiołu uderzającymi pod różnymi kątami, wysoką temperaturę pracy (na elementach metalowych wynosi ona ok. 550°C) oraz oddziaływanie korozyjne produktów spalania paliw. Wymusza to stosowanie na powłoki materiałów mających wysoką twardość, dużą adhezję do podłoża, co pozwala uzyskać znaczną ich grubość, niską porowatość oraz złożony skład fazowy gwarantujący uzyskanie wysokiej odporności korozyjnej na związki zawierające siarkę, chlor i parę wodną przy niedomiarze tlenu [4–8].

Dużą zaletą metody natryskiwania cieplnego w stosunku do metod napawania jest szybkość i mobilność procesu, która umożliwi wykonywanie powłok oraz ich regenerację bezpośrednio w kotłach, nawet w czasie krótkotrwałych postojów. Metody natryskiwania cieplnego nie posiadają istotnych ograniczeń materiałowych, co do składu powłoki i podłoża, zapewniają niską temperaturę ($423\div 473\text{K}$) obrabianych części oraz umożliwiają wytworzenie powłok o wysokiej twardości ($>1500\ \mu\text{HV}$) i grubości rzędu kilku milimetrów. Spośród wielu metod natryskiwania cieplnego praktycznie do zabezpieczania elementów kotłów stosuje się metody płomieniowe, łukowe, plazmowe i naddźwiękowe HVOF [5–12].

Metoda naddźwiękowego natryskiwania cieplnego HVOF pozwala na otrzymanie najwyższej jakości powłok z materiałów węglkowych. Charakteryzują się one: wysoką twardością (do $1600\ \text{HV}$), szczelnością (porowatość $<2\%$) i wysoką przyczepnością do podłoża ($>80\ \text{MPa}$).

Wieloletnie doświadczenia eksploatacyjne wskazały, że obszarami, które należy również zabezpieczać przed zużyciem, są sklepienie kotła oraz naroża

komory paleniskowej. Poniżej na rys. 3 przedstawiono przykłady wykonania powłok opisanymi metodami natryskiwania cieplnego na wytypowanych fragmentach ścian szczelnych (sklepienie i naroże) kotła fluidalnego.



Rys. 3. Natryskiwanie cieplne powłok na elementach kotłów energetycznych metodą: a) HVOF, b) łukową

Producenci materiałów powłokowych stosują zaawansowane technologie wytwarzania proszków i drutów, które pozwalają wytwarzać materiały o złożonym i złożonym składzie chemicznym oraz fazowym i określonej morfologii cząstek. Ich struktura jest optymalizowana dla danej metody natryskiwania cieplnego i uwzględnia ona specyfikę przemian zachodzących w materiale w czasie procesu natryskiwania, formowania i eksploatacji powłoki.

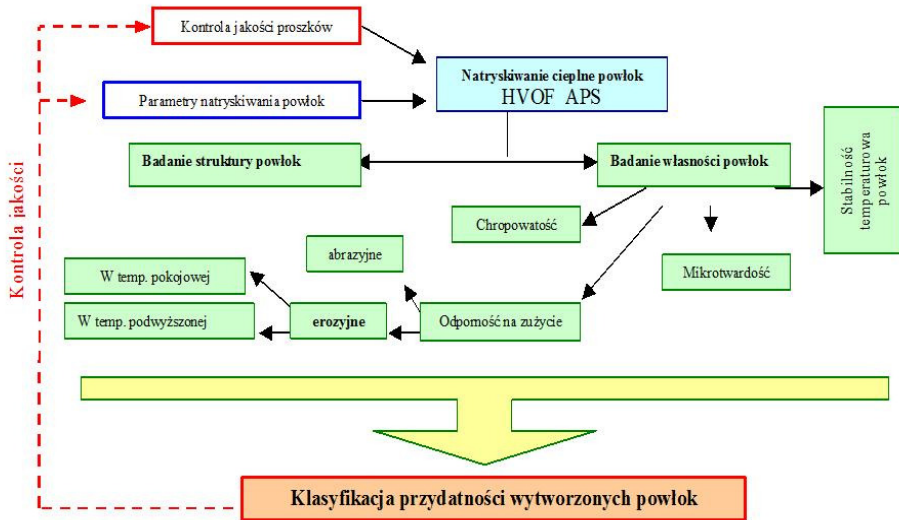
2. Cel i zakres prac

Celem podjętych z udziałem Fabryki Kotłów RAFAKO S.A. badań było opracowanie efektywnej technicznie i ekonomicznej technologii zabezpieczenia ścian wodnych kotłów fluidalnych przed zużyciem erozyjnym lub erozyjno-korozyjnym. Zakres prac realizowanych w ramach projektów ujmował:

- analizę przyczyn i mechanizmów zużycia wytypowanych elementów kotłów energetycznych,
- opracowanie koncepcji materiałowej i technologicznej wykonania zabezpieczeń ścian wodnych kotłów,
- wybór technologii i dobór urządzeń i materiałów do wytwarzania powłok ochronnych,
- opracowanie parametrów technologicznych wytwarzania powłok,
- określenie podstawowych własności użytkowych powłok w testach laboratoryjnych,
- opracowanie technologii wykonania powłok ochronnych bezpośrednio na obiektach energetycznych,

- ocenę stopnia zużycia i realną trwałości wybranych powłok w warunkach eksploatacyjnych.

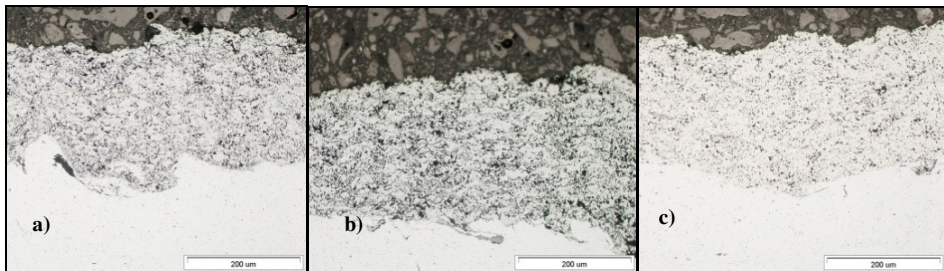
Dla zakresu badań dobrano odpowiednie metody badawcze i warunki przeprowadzenia testów oceny struktury i właściwości powłok, rys. 4.



Rys. 4. Metodyka oceny struktury i własności użytkowych powłok

3. Wyniki badań

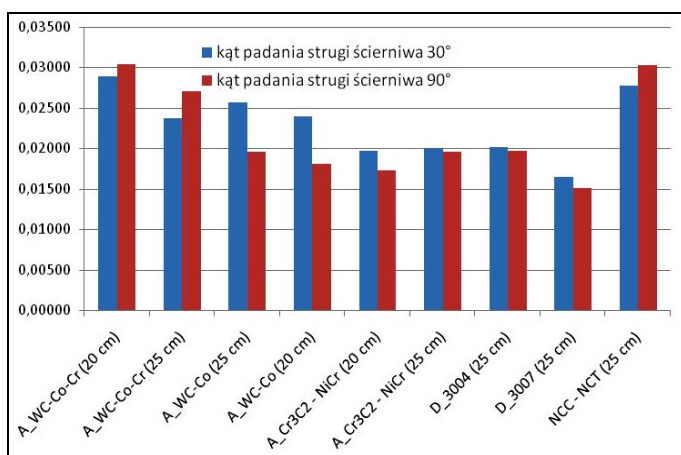
Powłoki zawierające węgliki chromu i wolframu z metaliczną plastyczną powierzchnią natrykiwano naddźwiękowo systemem Diamond Jet 2600 przy dobranych parametrach technologicznych procesu. Test zużycia erozyjnego realizowany był na stanowisku badawczym KS-3 z odśrodkowym wyrzutem ścierniwa. Do badania użyto elektrokorund klasy 100. Strukturę wybranych powłok oraz ich odporność na zużycie erozyjne przedstawiono na rys. 5 i 6.



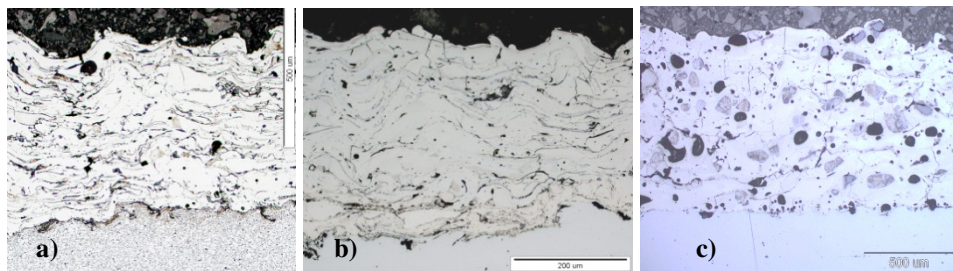
Rys. 5. Mikrostruktura powłok zawierających węgliki natrykiwanych cieplnie metodą HVOF: a) typu WC-Co-Cr b) WC-Co, c) Cr_3C_2 -NiCr

Największy wpływ na nią ma odpowiedni dobór materiału, urządzenia i parametrów technologicznych wytwarzania powłoki

Powłoki wytworzone metodą łukowego natryskiwania cieplnego z wybranych materiałów powłokowych przedstawiono na rys. 7, a ich odporność na zużycie erozyjne na rys. 8. Powłoki zawierające fazy międzymetaliczne z układu Fe-Al zostały wytworzone z materiałów powłokowych wytworzonych w ramach realizacji projektów badawczych autorów [13, 14]. Właściwie prowadzony proces natryskiwania cieplnego w połączeniu z odpowiednim przygotowaniem podłoża pozwala na otrzymanie grubych, dobrze przylegających do podłoża powłok o wysokich własnościach użytkowych.

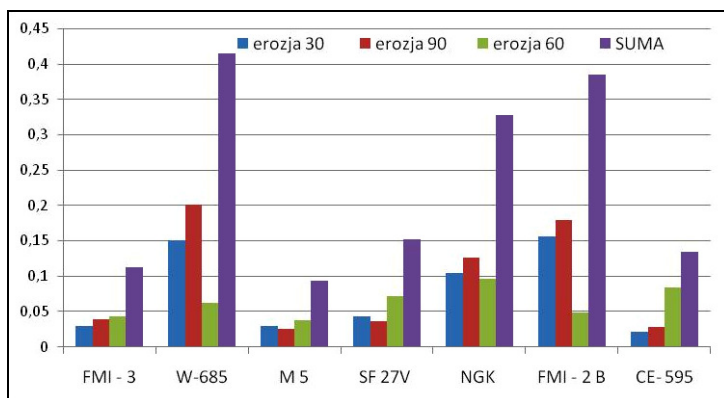


Rys. 6. Odporność erozyjna powłok natrykiwanych HVOF z materiałów zawierających węgliki chromu i wolframu



Rys. 7. Struktura powłoki natrykiwanej metodą łukową z materiału a) FMI-3, b) W-685, c) 27 DS

Do opisu materiałów (rys. 5–8) użyto oznaczeń przyjętych w ramach realizacji badań bądź nazw handlowych.



Rys. 8. Odporność na zużycie erozyjne powłok natrykiwanych łukowo

Wytwarzane powłoki po przeprowadzeniu całego cyklu badań zostały użyte do wykonania powłok w kilku kotłach energetycznych i wykazały bardzo wysoką trwałość eksploatacyjną.

Podsumowanie

Technologie natrykiwania cieplnego pozwalają na wytwarzanie złożonych powłok ochronnych na praktycznie dowolnych powierzchniach metalicznych stosując różne, specjalne materiały powłokowe. Powłoki te charakteryzują się zespołem korzystnych cech użytkowych, do których należy zaliczyć:

- wysoką odporność na zużycie erozyjne i korozyjne w wysokich temperaturach,
- możliwość regeneracji powłok w miejscach ich użytkowania.



Rys. 9. Powłoki ochronne w kotle fluidalnym: a) proces regeneracji powłoki, b) obszar regenerowany po 9 latach eksploatacji

Skuteczność zabezpieczenia wynika z zastosowania właściwych wysokiej jakości materiałów powłokowych, zaawansowanych technologii wytwarzania powłok oraz doświadczenia specjalistycznych firm wykonujących usługi.

Proces regeneracji powierzchni ściany kotła zabezpieczonej powłoką natryskiwana ciepłnie przedstawia rys. 9. Technologia bazowa może być transformowana do natryskiwania powłok na inne elementy pracujące w warunkach zużycia erozyjno-korozyjnego w podwyższonych temperaturach, przykład takich zastosowań przedstawiono na rys. 10. Politechnika Śląska wspólnie z RAFAKO S.A. była prekursorem w zastosowaniu technologii natryskiwania ciepłego powłok metodą naddźwiękową na ścianach kotłów energetycznych.



Rys. 10. Powłoki ochronne wykonane na wirniku wentylatora oraz zawirowywaczu dla palnika pyłowego

Wybrane wyniki badań były współfinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach umowy SP/E/1/67484/10-Strategiczny Program Badawczy – „Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”: „Opracowanie technologii dla wysokosprawnych „0-emisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO₂ ze spalin”.

Bibliografia

1. Hoop P.J., Allen C.: The high temperature erosion of commercial thermally sprayed metallic and cermet coatings by solid particles, *Wear* 233–235, 1999.
2. Formanek B., Szymański K., Hernas A., Kowalski B., Mirecki L., Włodarczyk A.: Erosion damage and protective coatings for water walls of CFB boilers, *AMME* 2002, 2002.
3. Wang B.Q.: Erosion – corrosion of thermal sprayed coatings in FBC boilers, *Wear* 199, 1996, s. 24–32.
4. Hernas A., Dobrzański J.: Trwałość i niszczenie elementów kotłów i turbin parowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.

5. Formanek B., Szymański K.: Naddźwiękowe natryskiwanie cieplne HVOF powłok o wysokiej odporności korozyjnej, *Inżynieria Materiałowa* nr 6, 2003.
6. Szymański K., Formanek B., Szczucka-Lasota B.: Erosion – corrosion resistance of HVOF – sprayed chromium and tungsten carbide, *Physico-Chemical Mechanics of Materials special issue*, 2008.
7. Matthews S., James B., Hyland M.: High temperature erosion of Cr₃C₂-NiCr thermal spray coatings – The role of phase microstructure, *Surface & Coatings Technology* 203, 2009.
8. Higuera Hidalgo V., Belzunce Varela J., Ceries Mendez A., Poreda Martinez S.: High temperature erosion wear of flame and plasma – sprayed nickel-chromium coating under simulated coal-fired boiler atmospheres, *Wear* 247, 2001, s. 214–222.
9. Higuera Hidalgo V., Belzunce Varela J., Ceries Mendez A., Poreda Martinez S.: A comparative study of high temperature erosion wear of plasma sprayed NiCrSiBFe and WC-NiCrBSiFe coating under simulated coal-fired boiler conditions, *Tribology Inter.* 34, 2001, s. 161–169.
10. Formanek B., Szymański K., Szczucka-Lasota B.: New generation of protective coatings intended for the power industry, *Journal of Materials Processing Technology*, Volumes, 2005, s. 164–165.
11. Formanek B., Szymański K. i inni: Natryskiwane cieplnie powłoki dla zabezpieczeń ścian wodnych kotłów i innych urządzeń energetycznych, *PIRE*, 2003.
12. Szczucka-Lasota B., Formanek B., Hernas A., Pająk L.: Corrosion resistance of composite HVOF sprayed coatings with FeAl and NiAl intermetallic phases in aggressive environment, *AMME* 2003.
13. PBZ/KBN 041/T08/2001 pt. „Stopy na osnowie faz międzymetalicznych, technologia, struktura, własności i zastosowanie”.
14. COST 522 – „Development of new materials with high dispersion intermetallic phases and HVOF – high velocity oxy-fuel thermal spraying technology for composite coatings with high erosion and corrosion resistance at elevated temperature”.

Recenzent:

Marek HETMAŃCZYK

Service life thermally sprayed coatings to protect the walls of fluidised bed boilers CFB

Key words

Wear, corrosion, erosion, coatings, thermal spraying, HVOF.

Summary

This paper analyses the consumption of water in the water walls of boilers with a circulating fluidised bed. The selected areas of the study are the protective coatings that have good erosive wear and corrosion properties. These coatings are a characterised group of composite materials used for thermal spray coatings by the HVOF and arc method.

The study presents the composite powders containing hard carbides in a plastic matrix and the structure of thermally sprayed coatings and the method of arc sprayed coatings of a new generation of flux cored wires containing inter-metallic phases of a Fe-Al system.

The defined long-term durability of the coatings in CFB boilers are also used for the development of the regeneration process.

In summary, the study characterises the development and implementation technology for protective coatings designed to protect the surface of the fluidised bed boilers and conventional boilers.